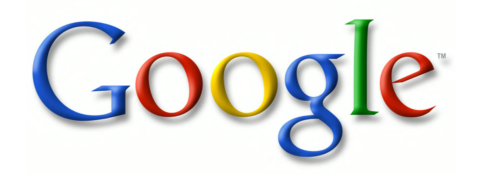


DIE

ELEKTRISCHEN BAHNEN.

VON

DR. MAX CORSEPIUS,

Technischer Direktor.

Dozent an der Kgl. Sächs. Technischen Hochschule Dresden.

MIT 89 IN DEN TEXT GEDRUCKTEN FIGUREN UND 7 TAFELN.

STUTTGART.

VERLAG VON FERDINAND ENKE.

1900.

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Vorwort.

Bei der Prüfung der auf dem Büchermarkt neu erscheinenden Werke findet man, dass die Anschauungen der Verfasser über den Zweck ihrer Arbeiten sehr verschieden sein müssen. Es liegt dies offenbar an der Möglichkeit, denselben Stoff in mannigfaltiger Weise zu bearbeiten und an den sehr auseinandergehenden Absichten. Schon die Wahl des Umfanges lässt den weitesten Spielraum nach oben und unten zu. Die vorliegende Bearbeitung soll nicht ein Sammelwerk sein und die Aeusserungen anderer über den Gegenstand zu einem Ganzen vereinigen, sondern mehr unter Verzicht auf zusammenstellende Thätigkeit die Aufgabe mehr von dem Standpunkt des Neuschaffens aus und insbesondere unter Ausübung einer gewissen Kritik behandeln.

Demgemäss übergibt hiermit der Verfasser eine Reihe von Betrachtungen und Rechnungen der Oeffentlichkeit, die von ihm zum Teil seit Jahren benutzt worden und dabei in der Praxis als nützlich erschienen sind. Dieselben sollen hier unter einheitlichen Gesichtspunkten behandelt werden. Eine eingehende Darstellung aller im Bahnbetriebe vorkommenden Erscheinungen und aller Bestandteile der Bahnen wurde nicht bezweckt.

Schon in dem der Sammlung elektrotechnischer Vorträge angehörenden Werkchen des Verfassers, das so günstig aufgenommen worden ist, und von dem einzelnes entlehnt und hierher übernommen wurde, sind dieselben Grundzüge, nach denen auch das hier behandelte Material zur Verarbeitung gelangt ist, angedeutet. Alle Betrachtungen über elektrische Bahnen können auf der einen Seite ebensowenig eine exakte Vorstellung und Ueberlegung entbehren, als auf der andern Seite das freimütige Zugeständnis, dass die Rechnungen den Charakter technischer Näherungsverfahren besitzen müssen und nicht mehr als solche zu leisten vermögen. Hiermit aber ergibt sich eine enge Anlehnung an die Praxis und an Konkretes, und damit nicht nur die

Möglichkeit, sondern sogar die Notwendigkeit, die theoretischen Erörterungen unmittelbar mit der maschinentechnischen Ausbildung in Verbindung zu bringen.

Diese Ueberlegung hat dazu geführt, auch die darstellende Seite in beschränktem Masse heranzuziehen und dies um so eher, als dem Verfasser auch bei seiner derzeitigen Thätigkeit als Dozent an der technischen Hochschule eine zweckmässige Unterstützung der theoretischen Behandlung durch die Anschauung stets als wichtig erschienen ist, so dass vielleicht seinen Zuhörern sowie Fernerstehenden ein Nutzen durch das Werk in dieser Form zu teil wird. Es liegt dabei die Ansicht zu Grunde, dass die abstrakte Erörterung erst in Verbindung mit der praktischen Ausführung zur vollen Wirksamkeit gelangt und dass in ähnlichem Sinne eine bildliche Wiedergabe mehr bietet als lange Beschreibungen. Von solchen, besonders anderweitig her übernommenen, wurde daher abgesehen.

Die bildlichen Darstellungen sind zum grossen Teil den Ausführungen der Aktiengesellschaft Elektricitätswerke (vorm. O. L. Kummer & Co.) entlehnt, was um so weniger als einseitig gelten kann, als überall nur die prinzipielle Bedeutung in Frage gezogen worden ist. Der genannten Firma sowie den anderen bedeutenden Firmen, welche den Verfasser und die Verlagsbuchhandlung hierbei unterstützt haben, sei an dieser Stelle besonderer Dank ausgesprochen.

Dresden, im November 1899.

Dr. M. Corsepius.

Inhalt.

Theoretische Behandlung; Berechnung.

Berechnung der zur Fortbewegung eines Zuges (Wagens) erforderlichen Leistung.

Handelt es sich darum, die Leistung in Pferdestärken oder Watt, d. h. bei gegebener Spannung die notwendige Stromstärke für einen fahrenden Zug zu ermitteln, so kann man zwei verschiedene Wege einschlagen.

Einmal ist es möglich, mit einer Reihe von Wagen, die sich in normalem elektrischen Betriebe befinden, Versuchsfahrten anzustellen und während der Fahrt die fortwährend wechselnde Grösse dieser Werte (z. B. der Stromstärke) zu beobachten. Aus den hierbei gesammelten Daten kann man einen Schluss ziehen auf die bei den verschiedenen während der Fahrt vorkommenden Verhältnissen notwendigen Leistungen.

Legt man die gesammelten Erfahrungen bei Projektierung neuer Bahnen in zweckmässiger Weise zu Grunde, so wird man einfach durch Uebertragung der entsprechenden Analogien zu einer Vorausberechnung der bei der neu zu entwerfenden Bahn zu erwartenden Verhältnisse gelangen können.

Der zweite, wesentlich andere Weg besteht darin, dass man zunächst einige theoretische Betrachtungen über die für Bahnen gültigen Gesetze der Fortbewegung und des Energieverbrauchs anstellt und dann, auf Grund von — sei es durch Versuche über spezielle Eigenschaften der Bahnanlagen, über die Reibungswiderstände und dergleichen, oder durch theoretische Kalkulation — gewonnenen und gesammelten Beobachtungen und Resultaten diejenigen Faktoren bestimmt, welche in den aus der theoretischen Betrachtung abgeleiteten Formeln als Konstanten auftreten.

Während der erstgenannte Weg ziemlich schnell zu bestimmten Resultaten führt, die aber wegen der Verschiedenheit der Bedingungen

den Charakter einer groben Annäherung besitzen, ist die zweite, gewissermassen analytische Methode durchsichtiger, jedoch umständlicher, gestattet aber, in jedem Falle den speziellen Umständen genau Rechnung zu tragen.

Nicht etwa die erste, anscheinend einfache Methode ist diejenige, welche sich gegenwärtig der allgemeinsten Benutzung zu erfreuen hat, sondern vielmehr die zweitgenannte. Dies findet seine Begründung wohl weniger darin, dass man im Erfolge von der zweiten Methode praktisch mehr befriedigt worden ist, als vielmehr in dem Mangel an statistischen Daten, welche mit genügender Genauigkeit und Bestimmtheit die einschlägigen Verhältnisse einwandsfrei erkennen lassen, ein Mangel, der erst durch die allmähliche Ausbreitung der elektrischen Bahnen mehr und mehr beseitigt worden ist.

Es dürfte an dieser Stelle angezeigt sein, darauf hinzuweisen: Was kann uns die im vorstehenden genannte zweite Methode, diejenige der analytischen Behandlung, welche wir entsprechend dem Angeführten zunächst betrachten wollen, leisten? Was können wir mit ihr erreichen und welchen Grad der Sicherheit verbürgt dieselbe?

Wir haben uns dabei folgendes zu vergegenwärtigen:

Die Leistung einer jeden Rechnung besteht darin, dass wir durch sie in den Stand gesetzt werden, aus gewissen Grundlagen, gewöhnlich Annahmen, bestimmte Ergebnisse abzuleiten, deren Kenntnis für uns notwendig oder erwünscht ist. Die Rechnung schafft also keine unabhängig neue Erkenntnis und kein fundamental neues Wissen, sondern sie lehrt uns nur den Erfolg, den unsere auf gewisse Grundanschauungen aufgebauten Annahmen in ihrer Endwirkung ausüben und besitzen.

Wir dürfen daher nicht aus dem Auge verlieren, dass die Gleichungen, welche wir über die Bahnverhältnisse aufstellen, und welche die unbekannte zu ermittelnde Grösse mit den gegebenen Grössen verbinden, gewisse Konstanten enthalten, von deren Bemessung das Ergebnis der Berechnung abhängt. Auch muss eine gewisse Einfachheit der zu ermittelnden Gleichungen angestrebt werden, so dass wir nicht erwarten können, dass die analytische Behandlung so weit ins Einzelne geht, um jede Vernachlässigung irgend einer der Teilerscheinungen, welche das Gesamtergebnis zusammensetzen, zu vermeiden. Vielmehr wird die Vereinfachung, welche man in vielen Fällen vorzunehmen gezwungen ist, dahin führen, dass manche Erscheinungen mit etwas anderem Charakter gekennzeichnet werden, als ihnen bei ganz genauer Berücksichtigung aller Einzelheiten zukommt. Es wird beispielsweise diejenige Konstante, welche die Glieder unserer Gleichungen verbindet, vielleicht nicht streng konstant sein, sondern

eine gewisse Abhängigkeit von äusseren besonderen Einflüssen besitzen. Wenn wir trotzdem die analytische Behandlung nach bestimmten einfachen Grundsätzen, die sich in den Gleichungen ausdrücken, durchführen, so geschieht dies mit demselben Rechte, wie in allen anderen Fällen technischer Berechnung.

Man muss sich eben hüten, einer Rechnung eine höhere Bedeutung beimessen zu wollen, als ihr zukommt. Es genügt nicht, dass wir dies oder jenes berechnet haben, es handelt sich darum, unter welchen Annahmen haben wir es berechnet, was für eine Grundlage hat die Rechnung? Hiermit eng im Zusammenhange steht der Wert des Ergebnisses und die Frage, ob das Berechnete richtig ist.

Diese Abhängigkeit des Ergebnisses von Voraussetzungen und gewissen grundlegenden Faktoren und Annahmen kommt bei allen technischen Berechnungen zur Geltung. Diesem Grundsatze entspricht durchaus die Thatsache, welche man bei derartigen Berechnungen vielfach beobachten kann, dass gewisse Sicherheitszuschläge gemacht werden zum Zwecke, irgendwelche bestimmten, jedoch in ihrem Werte mehr oder weniger unbekannten Einflüsse zu berücksichtigen, Zuschläge, welche oft ganz erhebliche Prozentsätze des berechneten Wertes ausmachen.

Was allgemein in der Technik gilt, gilt im speziellen in der Elektrotechnik und dem hier zu behandelnden Thema, den elektrischen Bahnen.

Es soll daher die Frage behandelt werden, wie gelangt man in der elektrotechnischen Bahnpraxis am leichtesten und mit möglichst wenigen und möglichst einfachen Rechnungen an das Ziel, zu der Kenntnis dessen, was man zu thun hat, um eine den speziellen Verhältnissen entsprechende Ausführung der Bahn zu sichern.

Wenn wir im folgenden im Einklange mit dem Gesagten versuchen wollen, gewisse Grundwerte aufzustellen, mit Hilfe deren man durch einfach gestaltete Gleichungen die Berechnung von Bahnen vornehmen kann, so werden wir behufs bequemer numerischer Bemessung der Faktoren an die Praxis appellieren müssen und aus gewissen beobachteten Daten die genannten Faktoren herzuleiten haben. Es wird sich dabei zunächst zeigen, dass, wenn man nicht gar zu peinlich in die Einzelheiten eindringen will, was im übrigen auch häufig keinen Nutzen gewährt, die Grösse der Konstanten, wie wir sie kurz nennen wollen, bei verschiedenen Verhältnissen gewisse Abweichungen zeigt und daher unsere besondere Beachtung verdient. Wir sind also im Grunde genommen auch bei der analytischen Behandlung in ziemlich erheblichem Grade auf die Praxis, d. h. auf Er-

fahrungswerte angewiesen, und damit ist die Verbindung wieder hergestellt mit der anfangs genannten ersten Methode, der direkten Verwertung von Erfahrungszahlen, welche nahezu ohne weiteres das Endergebnis liefert und alle Zwischenglieder vermeidet.

Eine zweckmässige und richtige Behandlung wird, wie sich dann hierbei zeigen wird, in einer richtig verstandenen Verbindung der unmittelbaren Benutzung von Zahlenwerten, gewissermassen Endergebnissen, mit der Durchführung von speziellen Berechnungen unter Anwendung von Erfahrungskonstanten bestehen.

Wir wollen nunmehr den Versuch machen, eingedenk der oben rekapitulierten Grundsätze, möglichst einfache Gleichungen zu gewinnen, die uns die Leistung für die Fortbewegung eines Bahnwagens oder Zuges in Verbindung mit den gegebenen Oertlichkeiten zahlenmässig darstellen.

Wir werden im Bewusstsein der Thatsache, dass die Rechnung uns nicht mehr leistet, als die Verbindung zwischen Annahmen und Ergebnissen herzustellen, uns damit begnügen müssen, eine einigermassen beschränkte Genauigkeit zu erreichen, und werden es vermeiden, alles bis auf die allereinfachsten Grundbegriffe zurückzuführen, um nicht eine Zahl von unangenehmen Komplikationen in den Kauf nehmen zu müssen, deren Wert immerhin problematisch bleibt.

Vergegenwärtigen wir uns, welche Grössen bei der Fortbewegung eines Zuges hauptsächlich in die Erscheinung treten, so haben wir zu konstatieren, dass dies hauptsächlich das Gewicht des Fahrzeuges ist, ferner die Geschwindigkeit, mit welcher sich dasselbe vorwärts bewegt, und drittens die Eigenschaften, welche von der Ausbildung des Schienenweges abhängig sind.

Nehmen wir nun an, dass die Zugkraft, gemessen in kg-Gewicht, bei gegebenen Verhältnissen unabhängig von der Geschwindigkeit ist, so erkennen wir, dass die erforderliche Leistung von Pferdestärken proportional der Geschwindigkeit ausfällt, und wir sind in der Lage, für diesen bestimmten Fall, welchen wir im Auge haben, die Gleichung aufzustellen:

$$L = \frac{\alpha \cdot T \cdot v}{75},$$

in welcher wir mit L die Leistung in Pferdestärken, mit T das Gewicht in Tonnen und mit v die Geschwindigkeit in Meter pro Sekunde bezeichnen, während α eine Konstante sein soll.

Nach physikalischen einfachen Gesetzen von der Arbeitsleistung bei Hebung eines Gewichtes ergibt sich nun ohne weiteres, dass ein Wagen, welcher bei einer Bergfahrt auf einer Steigung von s m

auf 1000 m Bahnlänge bergan fährt, wobei die Länge als Projektion der Strecke, d. h. als Horizontalabstand gerechnet wird, auf je 1000 m

$$s \, . \, T \, . \, 1000 \text{ kgm}$$

Energie verzehrt. Auf Landkarten, Plänen u. dergl. messen wir die Entfernungen in ihrer Projektion. Beziehen wir die Geschwindigkeitsangaben auf diese Entfernungen, so gelten die Formeln, welche wir aufstellen auf gleicher Basis wie die ebengenannte Angabe für die Bergfahrt. Es ergibt sich demgemäss für den Wagen, der sich nach unserer Annahme mit v m pro Sekunde bewegt, als erforderliche Leistung bei Abwesenheit jeder Reibung für die Bergfahrt der Betrag:

$$l_s = \frac{s \, . \, T \, . \, v}{75} \text{ PS} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Beziehen wir die Entfernungsangaben und die Geschwindigkeit nicht auf die Angaben der Pläne, sondern auf die Geleiselänge, wozu übrigens gar keine Notwendigkeit vorliegt, so ist der Fehler, da die Steigungen immer sehr geringe sind, sehr unbedeutend und auf alle Fälle zu vernachlässigen.

Unsere weiter oben aufgestellte Gleichung bezeichnete die gesamte Leistung. Wir können aus derselben durch Abziehen des zuletzt ermittelten Betrages für die lediglich durch das Heben des Gewichtes bedingte Leistung die Reibungsarbeitsleistung erhalten:

$$l_r = L - l_s = \frac{(\alpha - s) \, . \, T \, . \, v}{75}.$$

Setzen wir nun den Betrag

$$\alpha - s = f,$$

so erhalten wir somit

$$l_r = \frac{f \, . \, T \, . \, v}{75}$$

als Betrag für die Reibung.

Addieren wir die Leistung für Reibung zu derjenigen für das Heben des Gewichtes, so ergibt sich die Gesamtleistung

$$L = l_s + l_r = \frac{(f + s) \, . \, T \, . \, v}{75}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Die Vernachlässigungen in unseren Formeln, von welchen oben die Rede war, entfallen bei dieser vorstehenden Gleichung vollkommen, wenn wir eine bestimmte Geschwindigkeit (v) voraussetzen. Mit anderen Worten, für eine speziell gewählte Geschwindigkeit nimmt unter gegebenen Verhältnissen die Grösse f einen ganz bestimmten

Wert an, welcher nur von den Schienen- und Wegeverhältnissen abhängt.

Nehmen wir die Schnelligkeit dagegen als in hohem Masse veränderlich an, so wird sich in der Praxis ergeben, dass f nicht vollkommen konstant ausfällt, dass vielmehr, wenn auch die Schienen- und Wegeeigenschaften dieselben bleiben, f im allgemeinen sich mit der Geschwindigkeit etwas ändert.

Die wirklichen Verhältnisse werden die Annahme des auf einen bestimmten Wert festgesetzten Betrages von f insofern begünstigen, als wir es bei jeder Bahn im allgemeinen mit einer bestimmten mittleren Geschwindigkeit zu thun haben und eine Vernachlässigung des Einflusses der Geschwindigkeit für die Grösse von f nicht schwer ins Gewicht fällt. Wollte man jedoch die Veränderlichkeit von v in der Formel selbst zum Ausdruck bringen, so würde man zahlreiche Komplikationen mit in den Kauf nehmen müssen und es wäre die Berücksichtigung einer Reihe von Faktoren notwendig, beispielsweise des Luftdruckes, d. h. der Luftreibung am Wagen und anderer Einflüsse, und die Folge wäre die, dass die Formel ihre Einfachheit verliert, ohne dass der Erfolg mit den Komplikationen in gleichem Verhältnis stände, da, wie wir weiterhin sehen werden, der Einfluss des elektrischen Teiles auf das Resultat durchaus nicht unwesentlich ist, und um dieses Endziel unserer Berechnungen handelt es sich für uns naturgemäss ausschliesslich.

Es mag zwar vom Standpunkte der reinen Theorie höchst interessant erscheinen, diese Erscheinungen zu analysieren und Formeln dafür zu konstruieren. Vom Standpunkte der Technik aus ist das aber sehr gleichgiltig und unnötig, denn wir müssen an dem in der Einleitung Gesagten festhalten. Wir wollen so wenig wie möglich rechnen, wir wünschen nicht auf die primitivsten Begriffe der Physik zurückzugehen. Im Gegenteil, je direkter und stufenloser unsere Rechnung ist, desto besser.

Hier steht uns helfend zur Seite die Thatsache, dass sich in jedem Zweige der Technik, speziell der Elektrotechnik, bald etwas Konventionelles einfindet. Dies Konventionelle besteht bei den elektrischen Strassenbahnen beispielsweise in der durch die Betriebsverhältnisse veranlassten Geschwindigkeit und in der Wahl der Schienen. Man wird z. B. sehr häufig eine mittlere Geschwindigkeit von 15 km pro Stunde finden und ebenso die Verwendung von schweren massiven Rillenschienen.

Rechnet man nun noch dazu, dass die zweiachsigen Wagen mehr und mehr sich der Grösse für 18 bis 20 Sitz- und etliche Stehplätze

anpassen, so erkennt man, dass sehr grosse Variationen eigentlich nicht vorhanden sind.

Es dürfte daher unter diesen gegebenen Verhältnissen gerechtfertigt sein, wenn wir für die analytische Behandlung die einfache Formel zu Grunde legen und je nach den Bedingungen den Faktor f so wählen, dass die speziellen Einflüsse der Schienenverhältnisse, der Geschwindigkeit und des Luftdruckes etc. berücksichtigt werden. Bezüglich der Bewertung des Faktors f dürfte folgende Bemerkung am Platze sein:

Legt man der Ermittelung von f Versuche zu Grunde oder Berechnungen, bei welchen die einschlägigen Verhältnisse sehr genau berücksichtigt und festgestellt worden sind, so findet man, dass bei Eisenbahnschienen, sogenannten Vignolschienen, wenn dieselben freiliegen, der Faktor f sehr klein ausfällt, derartig, dass ein Wert von 6—8 ziemlich hoch erscheint und Werte herab bis 4 und 3 noch vorkommen[1]), während sich bei Rillenschienen, die eingebettet sind, höhere Werte ergeben, jedoch so, dass auch bei diesen unter sehr günstigen Verhältnissen ähnliche Zahlen wie für die Vignolschienen erzielt werden, und somit im allgemeinen Werte etwa zwischen 8 und 12, jedoch auch solche von 6 und darunter zu finden sind.

Nun ist es aber ausserordentlich beschwerlich, sich über die Wirkung jedes Teiles, mit anderen Worten sich über die Verluste in der elektrischen Einrichtung, besonders diejenigen in den Motoren sowie den Uebersetzungsmitteln, Zahnrädern, Widerständen u. dergl., eine klare Vorstellung zu machen resp. zu verschaffen.

Dazu kommt noch, dass nicht nur die Art der Steuerung der Motoren, sondern sogar bei gegebener Konstruktion die Handhabung der Steuerapparate von Einfluss auf die Ergebnisse ist. Es gibt Wagenführer, welche viel Strom verbrauchen, und es gibt solche, welche sparsam fahren, ausserdem hängt auch der Stromverbrauch von dem Grade ab, in dem die Wickelungen der Motoren den wirklichen Verhältnissen angepasst sind.

Wir wollen uns dazu folgendes vergegenwärtigen.

Ein Strassenbahnwagen, welcher mit Anhängewagen fährt, wird, falls starke Steigungen vorkommen (beispielsweise 1 : 15), zwei starke Motoren erfordern. Diese Motoren werden bequem jeder 15—20 PS, maximal 35, vielleicht sogar noch mehr leisten können. Der Wirkungsgrad dieser Motoren wird bei den angegebenen Leistungen einschliess-

[1]) Eine brauchbare Berechnung für Eisenbahnen liefert die Formel

$$f = 2{,}4 + \frac{V^2}{1000}.$$

lich Zahnradübersetzung, falls dieselbe in gutem Zustande sich befindet und gut geschmiert ist, ein sehr guter sein, man wird einen Wirkungsgrad von 0,7—0,8 und darüber beobachten.

Ermitteln wir nun, bezw. beobachten wir die Leistung, welche bei horizontaler Fahrt erforderlich ist, so ergeben sich im Gegensatze zu den vorstehend genannten Zahlen auffallend niedrige Beträge von wenigen Pferdestärken.

Wir haben nun zwei Fälle zu unterscheiden, einmal denjenigen, dass nur sehr wenig Steigungen vorkommen, die übrige Strecke jedoch nahezu horizontal ist, und ferner denjenigen Fall, dass starke Steigungen zu überwinden sind und vielleicht Steigungen und Gefälle fortwährend miteinander abwechseln. Betrachten wir zunächst den letztgenannten Fall, so werden wir finden, dass die Motoren ziemlich gut ausgenutzt werden, jedoch öfters, und zwar jedesmal, wenn sich der Wagen in Thalfahrt befindet, ohne Strom laufen; im zuerst genannten Fall dagegen wird ein Fahren ohne Strom im allgemeinen wenig vorkommen, da eben kein Gefälle vorhanden ist, dagegen werden die Motoren dauernd nur wenig zu leisten haben, also schlecht ausgenutzt werden. Die Folge ist einfach die, dass bei bergigem Terrain die genannten Motoren, welche in beiden Fällen gleich stark gedacht werden, mit gutem Wirkungsgrad arbeiten, bei vorwiegend horizontalem Gelände dagegen einen sehr geringen Wirkungsgrad aufweisen, der unter 0,5 sinkt und nicht durch Verkleinerung der Motoren gehoben werden kann, weil die wenigen starken Steigungen, welche vorkommen, zur Anwendung der kräftigen Motoren zwingen.

Man erkennt hieraus, wie schwierig es ist, die Wirkungsgrade der Motoren richtig zu beziffern, dazu kommt noch, dass die Anwendung der Vorschaltwiderstände unter Umständen einen grossen Teil der Energie nutzlos verschluckt, indem beispielsweise dauernd eine häufige Vorschaltung dieser Widerstände nötig ist, um die Geschwindigkeit innerhalb der konzessionierten Grenzen zu erhalten, und weil es dann wiederum von der Geschicklichkeit des Wagenführers abhängt, inwieweit Ersparnisse dadurch erzielt werden, dass zeitweise der Strom ganz ausgeschaltet und so die lebendige Kraft des Wagens ausgenutzt wird.

Aus diesen Betrachtungen geht nun hervor, dass man beispielsweise, wenn man zu hohe Wirkungsgrade für Motoren ansetzt, aus gegebenen Beobachtungen einen zu hohen Wert für f ableitet, ein Fall, der öfter beobachtet werden kann. Es ist daher notwendig, bei der Ermittelung dieser Konstanten mit grosser Vorsicht zu verfahren und sich nicht durch irgendwelche im Laboratorium angestellte Er-

mittelungen des Motorwirkungsgrades dazu verleiten zu lassen, den elektrischen Teil eines Motorwagens in seiner Güte zu überschätzen; man läuft sonst Gefahr, dass unter Umständen so auffallend hohe Werte von f konstatiert werden, dass dieselben mit den Erfahrungen anderer Bahnen gleicher Art in auffallendem Widerspruch stehen. Die Differenz ist aber in solchen Fällen in Wirklichkeit nicht immer dem Zustande der Schienen, sondern vielmehr den Unterschieden in der Ausnutzung der elektrischen Einrichtungen, d. h. den Unterschieden der Wirkungsgrade zuzuschreiben, welche thatsächlich bei den gewöhnlichen Verhältnissen sich auf einem viel niedrigeren Niveau bewegen, als häufig angenommen wird.

Dazu kommt noch die später eingehender zu erörternde Thatsache, dass für die nach jedem Halten erforderliche Beschleunigung des Wagens nicht unerhebliche Energiemengen aufzuwenden sind.

Aus allem Angeführten ergibt sich, dass eine sehr genaue Kenntnis der Grösse von f nicht notwendig ist.

Verbrauch an Wattstunden pro Wagenkilometer.

Wenn wir im Gegensatz zu der angeführten Behandlungsweise der elektrischen Bahnen auf die Endergebnisse von Messungen unser Augenmerk richten, so werden wir konstatieren müssen, dass eine durchgreifende Beobachtung und Auseinanderhaltung der wechselnden Stromverhältnisse Schwierigkeiten bereitet, dass dagegen der Durchschnittsverbrauch des Fahrzeuges oder der Verbrauch an gelieferter elektrischer Energie bezogen auf das durchfahrene Kilometer verhältnismässig leicht festzustellen ist.

Fast jede grosse Bahn ist mit einem Wattstundenzähler für die an die ganze Strecke abgegebene Energie ausgerüstet. Es ist daher meistens möglich, zu konstatieren, wieviel Wattstunden pro Zugkilometer verbraucht worden sind.

Als die Grössen, von welchen der Wattstundenverbrauch pro Wagenkilometer abhängt, sind, ausser dem Gewicht des Wagens, der Koëffizient f für die Fortbewegung und die Wirkungsgrade des Motors, des Uebertragungssystems und der Schaltapparate zu betrachten. Wir werden auf diese Verhältnisse in einem späteren Kapitel näher eingehen, hier soll nur erwähnt werden, dass sich gewisse Erfahrungssätze für den Verbrauch in der Praxis ergeben, deren Benutzung möglich ist und zum Ziele führt, wenn man sich auf gleichartige Grundlagen beziehen kann. Es ergibt sich hierbei ausserdem die überraschende Thatsache, dass der Verbrauch pro Wagenkilometer weit

mehr durch die Art und Weise der elektrischen Ausrüstung, insbesondere die Grösse der gewählten Motoren, als durch die anderen variablen Verhältnisse beeinflusst wird.

Man kann ungefähr folgendes konstatieren: Bei denjenigen Bahnen, welche leichte Wagen benutzen, und die fast ganz horizontal verlaufen, beträgt der Verbrauch, wenn die Motoren so klein als möglich gewählt sind, 325—400 Wattstunden pro Wagenkilometer. Es sind hierbei Wagen vorausgesetzt, welche etwa 14—18 Sitzplätze enthalten. Wird die Bahn jedoch mit Wagen betrieben, welche 18—20 Sitzplätze und einen grossen Motor besitzen, so ist der Wattstundenverbrauch, vorwiegend horizontale Strecken vorausgesetzt, ca. 450 Wattstunden pro Wagenkilometer.

Kommen starke Steigungen vor, welche es notwendig machen, den Wagen mit zwei stärkeren Motoren auszurüsten, deren jeder 15—35 PS hergeben kann, so steigt der Verbrauch auf etwa 470 bis 550 Wattstunden, und wenn häufig Steigungen zu durchfahren sind, bis 620 und noch höher. Bei denjenigen Bahnen, welche unter ganz besonders schwierigen Nivellementsverhältnissen arbeiten, und bei denen daher sehr starke Motoren erforderlich sind, die auch bei den stärksten Steigungen von ca. 1 : 10—1 : 9 eine immerhin wesentliche Geschwindigkeit besitzen, werden noch erheblich grössere Zahlen, ca. 800—900 Wattstunden, naturgemäss erforderlich.

Was als wesentlich zu betrachten ist und aus den genannten Zahlen hervorgeht, ist, dass Wagen mit gleichem Gewicht und gleichen Motoren einen nicht sehr verschiedenen Wattstundenverbrauch zeigen, sowohl wenn dieselben auf vorwiegend horizontalen Strecken mit nur wenigen Steigungen, als auch wenn dieselben auf einem Gelände fahren, bei dem Steigung und Gefälle fortwährend wechselt. Es ist dies nur dadurch zu erklären, dass bei dem horizontalen Gelände der Wirkungsgrad der Motoren und der ganzen elektrischen Einrichtung viel kleiner ist, als beim Durchfahren mittelgrosser Steigungen, dass jedoch bei der Fahrt auf unebenem Gelände, sobald die Thalfahrt beginnt, gebremst werden muss und damit Energie verloren geht, welche bei der nächsten Bergfahrt wieder mit aufzuwenden ist.

Als Folge ergibt sich dabei der verhältnismässig geringe Unterschied in beiden Fällen.

Eine auffallende Thatsache bedarf noch der Erwähnung:

Die bisher geringsten Beträge für den Wattstundenverbrauch pro Wagenkilometer hat man da konstatiert, wo mit ungefähr gleichbleibender Geschwindigkeit grosse Strecken durchfahren werden und,

was merkwürdig erscheint, relativ niedrige Werte bei Akkumulatorenwagen. Zahlen von 360—380 Wattstunden pro Wagenkilometer zur Ladung eines Akkumulatorenwagens sind beobachtet und Beträge von 450—500 Wattstunden zur Ladung sind etwas ganz Normales.

Es geht hieraus hervor, dass die ungünstigen Einflüsse, welche auf die Steuerung zurückzuführen sind, und die wir oben erwähnten, durch die Anwendung von Akkumulatoren wesentlich abgeschwächt werden, da man vielleicht voraussetzen kann, dass der ruhigere Gang von Akkumulatorenwagen einen günstigen Einfluss auf den Traktionskoëffizienten f ausübt, und dass ferner die höhere Belastung der Wagenachsen durch das hinzukommende Gewicht der Akkumulatoren keine proportionale Steigerung des Energieverbrauches an Pferdestärken zur Folge hat. Es ist dies eine Erscheinung, welche die Gewichtsvermehrung durch Akkumulatoren nicht in dem ungünstigen Lichte erscheinen lässt, welche ihr von den Gegnern der Akkumulatorenwagen gerne beigelegt wird.

Nicht genug kann betont werden, dass, wenn man einen geringen Wattstundenverbrauch erzielen will, vor allen Dingen danach gestrebt werden muss, ein möglichst stets gleich grosses Gewicht und eine möglichst konstante Geschwindigkeit zu erzielen. Es folgt daraus, dass sich am günstigsten verhalten Eisenbahnwagen, welche mit konstanter Geschwindigkeit, und ohne viel anzuhalten, die Strecke durchfahren, und welche entweder gar keine oder eine bestimmte, stets gleiche Anzahl Anhängewagen mitführen.

Ferner ergibt sich, dass es durchaus ungünstig einwirkt, wenn die Motorwagen mit sehr kräftigen Motoren ausgerüstet werden müssen, um starke Steigungen mit Anhängewagen zu durchfahren, dabei aber die Anwendung der Anhängewagen sich auf wenige verkehrsreiche Tage beschränkt. Wer in dieser Beziehung sparen will, soll kleine Wagen ohne Anhängewagen und mit schwächeren Motoren und ausserdem grosse vierachsige Wagen für den Sonntagsverkehr benutzen, sofern das Bedürfnis wirklich vorliegt, auf Anhängewagen jedoch verzichten.

Es mag hierbei erwähnt werden, dass gleichzeitig eine wesentliche Ersparnis des Bedienungspersonals eintritt, wenn keine Anhängewagen, sondern grosse Motorwagen benutzt werden, weil jeder Anhängewagen einen besonderen Schaffner erfordert, ein solcher aber auch für den grösseren Motorwagen genügt. Werden die Bremsen des Anhängewagens von Hand bedient, so erspart man ausserdem noch diesen Bremser. Das Personal bildet aber eine wesentliche Ausgabe bei den Strassenbahnen.

Da nicht in allen Fällen der Verbrauch an Wattstunden einen direkten Massstab für die Ausgaben bildet, so wird es auch nicht unter allen Umständen anzustreben sein, die Motoren auf das kleinste Mass einzuschränken, zumal da die Anwendung schwacher Motoren leicht zu wesentlichen Ausgaben für Reparaturen Veranlassung gibt, und andererseits die Wahl stärkerer Motoren eine höhere Betriebssicherheit gewährleistet. Diese ist aber einer der wichtigsten Faktoren im Bahnbetriebe.

Bei Akkumulatorenwagen spielt der Verbrauch an Wattstunden naturgemäss eine hervorragende Rolle, da er die Grösse und den Preis sowie das Gewicht der Akkumulatorenbatterie bestimmt. Man wird daher bei diesen Wagen auch aus Rücksicht auf die Schonung, welche den Motoren dadurch angedeiht, dass die Stromstösse gemildert werden, die Motoren möglichst klein wählen und eine Berechtigung hierzu anerkennen müssen.

Es ist noch zu erwähnen, dass der Wirkungsgrad der Traktionsbatterien nicht leicht zu ermitteln ist und man daher bei formelmässiger Berechnung des Wattstundenverbrauches für Akkumulatorenwagen in Bezug hierauf mehr oder weniger auf eine Schätzung angewiesen ist. Auch aus diesem Grunde ist es empfehlenswert, nicht auf die Grundbegriffe, d. h. die einzelnen Faktoren in den Gleichungen zurückzugehen, sondern nach Erfahrungsdaten den Wattstundenverbrauch automobiler Strassenbahnwagen pro Tonnenkilometer anzunehmen und mit der Grösse des jedesmal angewendeten Wagengewichtes zu multiplizieren, jedoch wieder unter Berücksichtigung des Umstandes, dass das Gewicht keinen vollkommen proportionalen Einfluss ausübt, und dass die Grösse der gewählten Motoren von hervorragendem Einflusse ist.

Das Ergebnis muss daher entsprechend nach oben oder unten abgerundet werden. Als Verbrauch pro Tonnenkilometer zur Ladung der Batterie ist ein Betrag von 40—60 Wattstunden, im Mittel vielleicht 50, zu rechnen.

Berechnung der Gesamtleistung für den Betrieb einer Bahn.

Nachdem wir in den früheren Abschnitten festgestellt haben, wie wir rechnerisch die Leistung in Pferdestärken oder Watt für einen fahrenden Zug ermitteln können und im Gegensatz hierzu auf die Möglichkeit der Benutzung von direkt der Praxis entlehnten Werten hingewiesen haben, soll nunmehr der Frage näher getreten werden, in

welcher Weise diese Einzelbeträge verwertet werden können, um die Maschinenleistung für eine ganze Bahn zu erhalten. Wir wollen daher untersuchen, ob wir noch weiterer Angaben bedürfen und was wir zu thun und zu beachten haben, um zu richtigen, allgemein gültigen oder im speziellen brauchbaren Ergebnissen zu gelangen.

Die Verhältnisse bei einer Bahn, in ihrer Gesamtheit genommen, liegen insofern von vornherein ganz anders, als die zu betrachtende Leistung sich aus vielen Einzelleistungen zusammensetzt, die in ihren Teilwirkungen zu studieren, und bei denen die Gesetzmässigkeit, nach der sie zu dem Ganzen zusammentreten, zu erforschen oder doch wenigstens in ihrer Gesamtwirkung klar zu legen ist.

Genau wie bei den vorangegangenen Erörterungen werden hier wieder zwei Wege zu betrachten sein, der eine der analytische, der andere der empirische, von denen der letztgenannte uns wieder einfacher, aber eher auf spezielle Fälle eingeschränkt erscheinen wird als der erstgenannte, der mehr Mittel zum Zwecke erfordert und sich auf einzelne Rechnungen stützt, aber dafür allgemeineren Charakter trägt.

Wir wollen es wieder vorziehen, uns zuerst mit der rechnerisch-analytischen Behandlung zu befassen und dann einige Methoden besprechen, welche der Erfahrung angepasst und deren Daten derselben entlehnt sind. Wir werden dann sehen, dass auch hier beide Behandlungsweisen sich ergänzen und je nach Bedarf benutzt werden können.

Bevor wir in die spezielle Erörterung eintreten, wollen wir feststellen, was für Erscheinungen wir zu erwarten haben, und worin eine Gesetzmässigkeit dabei zu erblicken oder auch zu vermissen ist.

Wir können sogleich folgendes konstatieren: Die verschiedenen Wagen oder Züge, welche auf der Strecke fahren, befinden sich nicht alle unter gleichen Verhältnissen, sondern im Gegenteil, während der eine bergauf fährt, läuft der andere bergab, der dritte horizontal und so fort. Wir erhalten ein äusserst buntes und dabei fortwährend abwechslungsvolles Bild.

Im Zusammenhang hiermit überblickt man ohne weiteres, dass mit dem unaufhörlichen Wechsel der Bedingungen für die Fahrt sich auch die Stromstärke für jeden Wagen und ebenso die Gesamtleistung häufig ändert. Es kommen aber noch weitere Umstände hinzu, welche selbst bei vollkommen horizontaler Bahn das Auftreten eines konstanten Stromes ausschliessen. Diese Aenderungen sind dadurch begründet, dass nicht ein gleichmässiges Fahren aller Wagen möglich ist, sondern die einzelnen Wagen bald halten, bald wieder anfahren, durch Kurven fahren, im Tempo zulegen, langsamer fahren müssen, weil kleine Verkehrshindernisse eintreten u. s. w. Man hat also bei einer elektrischen

Bahn ein Problem zu lösen, das weit komplizierter ist, als irgend eine noch so komplizierte Zugkraftberechnung, und muss dabei noch mit einer bedeutenden Unsicherheit in der Beurteilung der Stromvariationen rechnen.

Wir wollen daher die Mittel und Wege erörtern, wie man sich ein Bild von diesen Vorgängen machen und wie man mit ihnen rechnerisch verfahren kann.

Unter Zuhilfenahme der im früheren Abschnitt erwähnten Hauptformel erkennt man, dass ein konstanter Kraftbedarf nötig ist, unabhängig von der Steigung, und dass zu diesem sich jeweilig diejenige Leistung addiert, welche zum Heben des Gewichtes erforderlich ist, die von der Steigung abhängig ist und bald positiv, bald negativ ausfällt. Würde man nun annehmen, dass man die bei der Thalfahrt in der Formel negativ auftretende Energie nicht durch Bremsung vernichten, sondern wiedergewinnen und der Betriebsmaschine bezw. den anderen in der Bergfahrt befindlichen Wagen zuführen würde, so würde, eine sehr grosse Zahl von Betriebswagen, d. h. eine sehr grosse Verkehrsdichtigkeit vorausgesetzt, und angenommen, dass Hin- und Rückfahrt sich auf derselben Bahnlinie vollziehen, die erforderliche Gesamtleistung sich dem Vielfachen derjenigen Leistung nähern, welche auf der Horizontalen erforderlich ist; dies allerdings nur insoweit, als nicht die anderen, oben erwähnten und durch das unregelmässige Fahren bedingten Faktoren Abänderungen dieser Leistung herbeiführen.

Nun sind aber die gegenwärtig in Gebrauch befindlichen Wagen im allgemeinen so beschaffen, dass bei der Thalfahrt gebremst wird. Dies hat zur Folge, dass der bei der Thalfahrt sich ergebende negative Summand fortfällt und daher Null wird. Es bleiben also die positiven Summanden übrig, und sie bewirken eine Vergrösserung der Leistung.

Man erkennt leicht, dass, je grösser die vorkommenden Steigungen sind, desto mehr die Leistung für Horizontalfahrt durch die positiven Summanden vermehrt wird.

Man kann nun, um die erforderliche Vermehrung der Horizontalleistung in Abhängigkeit zu bringen von dem Grade der Steigungen, den Begriff der sogenannten „mittleren Steigung“ einführen. Hierbei ist aber folgendes zu beachten.

Wir sahen eben, dass das wirkliche Mittel der Steigung für Bahnen, die in beiden Richtungen durchfahren werden, = 0 ist, d. h. die Steigungen treten in demselben Grade positiv wie negativ auf. Da aber in Wirklichkeit bei Thalfahrt gebremst wird, so ist die rechnerische mittlere Steigung grösser als Null.

Unsere sogenannte mittlere Steigung ist diejenige, welche sich ergibt, wenn man jede Niveauänderung als Bergfahrt behandelt, also Neigungen als Steigungen betrachtet. Man summiert einfach alle einzelnen Niveaudifferenzen und dividiert sie durch die Länge der gesamten Strecke.

Eine Thatsache dürfen wir an dieser Stelle nicht unbeachtet lassen. Es ist ohne weiteres klar, dass es theoretisch sinnlos wäre, dieser mittleren Steigung einen direkten rechnerischen Wert beizulegen und etwa anzunehmen, dass man einfach mit der Gesamtwagenzahl und dieser mittleren Steigung nach der Hauptformel die erforderliche Gesamtleistung ausrechnen könne.

Hierbei ist unter anderem zu bedenken, dass nur dann bei Thalfahrt gebremst wird, wenn der Betrag von s grösser ist als f; ferner aber, dass die oben genannten Voraussetzungen über die Wagenzahl (die Verkehrsdichtigkeit) nicht erfüllt sind; und dass endlich der momentan auftretende maximale Kraftbedarf trotz gleicher „mittlerer Steigung" bei sehr unregelmässigen Streckenprofilen nicht unbedingt gleich ist demjenigen bei sehr gleichmässig in gleichbleibendem Sinne ansteigender Strecke; kurz gesagt, dass der Einfluss des unregelmässigen Fahrens weit überwiegt.

Nichtsdestoweniger kann uns der Betrag der mittleren Steigung als bequemer Anhalt dienen, um die erforderliche Gesamtleistung annähernd zu beurteilen, besonders aus dem Grunde, weil derselbe dem Gesamtbilde der Bahn entlehnt ist und somit ein Kriterium des Ganzen bildet.

Wir werden dann im späteren noch bei der Betrachtung der mittleren und maximalen Maschinenleistungen näher auf diese Verhältnisse eingehen und auch den Einfluss auf die Leistung betrachten, welcher durch diejenige Anordnung ausgeübt wird, die dazu dient, die Energie bei Thalfahrt nutzbar wiederzugewinnen.

Unterlagen für die Berechnung.

Wir wollen untersuchen, welcher Grundlagen oder Angaben wir bedürfen, um die erstrebte Ermittelung vornehmen zu können, und ob die Form, in welcher sie uns für gewöhnlich geboten werden, die erwünschte ist.

Da wir, wie oben bemerkt, beabsichtigen, zunächst die rechnerisch-analytische Behandlung durchzuführen, und eine solche sich naturgemäss auf einzelne Daten stützt, die dann in den Formeln weiter benutzt werden, so ergibt sich von selbst, dass diese Methode umfangreichere

Angaben erfordert, als eine mehr der praktischen Beobachtung entlehnte direktere Ermittelung. Gemäss den entwickelten Gleichungen für die von einem einzelnen Wagen verbrauchten Pferdestärken, die wir hier zu einem Gesamtbild weiter verarbeiten wollen, haben wir bei dieser Behandlung die Kenntnis der verschiedenen Steigungsverhältnisse der Bahn nötig. Die genaue rechnerische Durcharbeitung eines Bahnprojekts setzt daher voraus, dass ein Nivellement der Strecke vorliegt. Gewöhnlich ist in demselben der Massstab der Höhen ein anderer als derjenige für die Streckenlänge.

Ein Beispiel eines solchen Nivellements in Form eines Höhendiagramms ist in Fig. 1 gegeben, welche ein von der Firma Akt.-Ges. Elektrizitätswerke vorm. O. L. Kummer & Co. behandeltes Projekt darstellt.

Wir können nun als unsere erste Aufgabe folgendes betrachten: Zu jedem Punkte der Bahnstrecke ist nach dem gegebenen Höhendiagramm die erforderliche Leistung in Pferdestärken zu ermitteln und ein dem Höhendiagramm entsprechendes Kraftdiagramm zu konstruieren; dieses Diagramm soll in demselben Längenmassstab ausgeführt werden wie das Höhendiagramm, damit beide direkt vergleichbar sind und untereinander gezeichnet werden können. In der Figur sind die beiden Diagramme als Steigungsnivellement und Kraftdiagramm bezeichnet.

Um dieses Kraftdiagramm, dessen Herstellung wir gleich näher erörtern werden, zu dem hier angestrebten Zweck weiter verwerten zu können, bedürfen wir noch einer weiteren Unterlage, des Fahrplanes. Derselbe lässt sich ebenfalls leicht graphisch herstellen und ist in der Figur oberhalb in gleichem Längenmassstab wie das Nivellement angebracht.

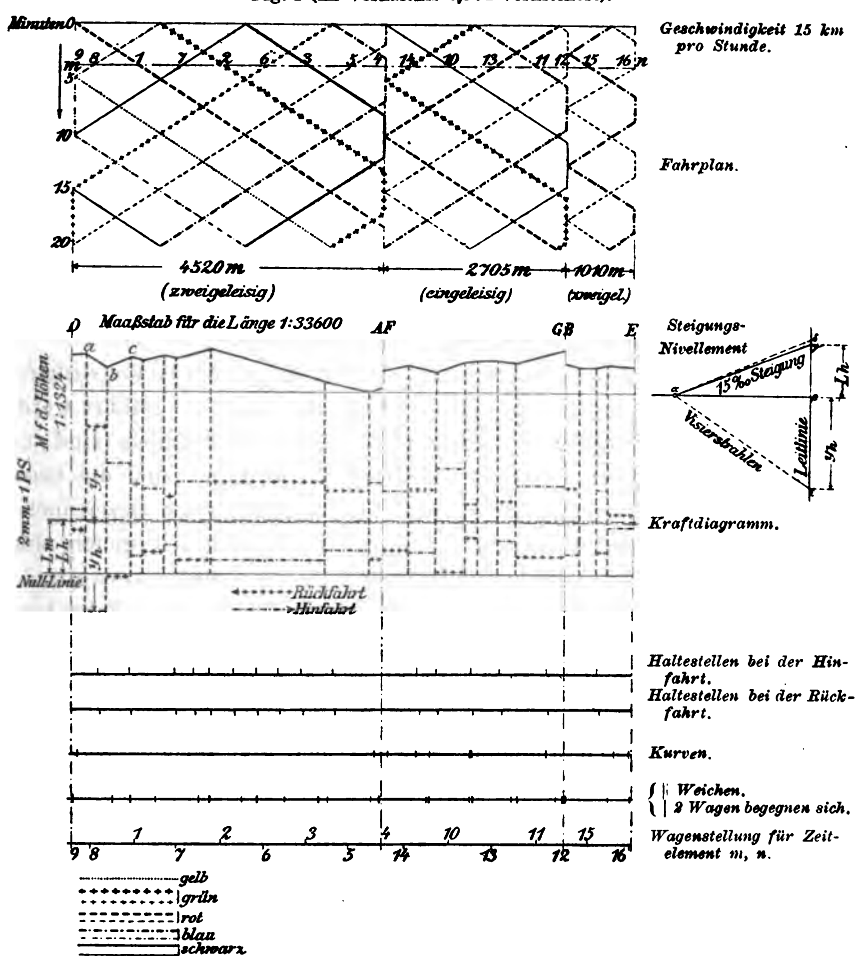
Ist nur die Zeit angegeben, in der sich die einzelnen Züge oder Wagen aufeinander folgen, und ihre Geschwindigkeit, so hat man sich, wie wir hieraus ersehen, ein Fahrplandiagramm mit Hilfe dieser Daten zu konstruieren, indem man die Streckenlänge als Abscisse und als Ordinaten die Zeit in Minuten aufträgt, letztgenannte in beliebigem Massstab.

Wir wenden uns nunmehr der Ermittelung des Kraftdiagrammes zu. Eine Methode des Verfassers zur Ermittelung der Leistungen besteht in folgendem: Man berechnet nach der Hauptformel für $s = 0$, d. h. für Horizontalfahrt, die zur Fortbewegung des Fahrzeuges bei der zu Grunde gelegten Geschwindigkeit (in Fig. 1 15 km pro Stunde) erforderliche Anzahl Pferdestärken. Dieser Wert, bezeichnet L_h, wird in das Kraftdiagramm als Horizontale eingetragen, und zwar in einem beliebigen, geeigneten Massstab.

Je nach der Steigung kommt zu L_h ein Summand in positivem oder negativem Sinne hinzu.

Ist nun s = dem Koëffizient f, der in dem hier vorliegenden älteren Projekt = 15 angenommen ist, so wird der Summand = ± L_h.

Fig. 1 (im Verhältnis 0,3 : 1 verkleinert).



Man konstruiert sich ausserhalb auf dem Papier des Diagrammplanes aus einer Leitlinie in der Vertikalrichtung $\varepsilon\beta\delta$ und einer Horizontalen $\alpha\beta$ ein Koordinatensystem.

Vom Schnittpunkt β trägt man auf der Ordinatenachse L_h ab bis γ.

Nun konstruiert man in den beiden Massstäben des Nivellements eine Gerade in der Steigung s = f, d. h. f m Erhebung im Höhen-

massstab auf 1000 m Länge im Längenmassstab. Zu dieser Geraden zieht man durch γ eine Parallele und erhält so den Visierpunkt α.

Das weitere, graphische Verfahren besteht nun einfach darin, dass man durch α zu den Steigungslinien des Nivellements Parallele zieht. Diese Visierstrahlen schneiden auf der Leitlinie Grössen y ab, welche, je nachdem der Wagen bergan oder bergab fährt, in das Kraftdiagramm von der Linie L_h ab nach oben oder nach unten eingetragen werden, wie z. B. y für Strecke a b. Hierbei ist y_h im Kraftdiagramm für Hinfahrt (von links nach rechts), y_r für Rückfahrt (von rechts nach links) eingetragen.

Dadurch nun, dass man im Kraftdiagramm, jedesmal auf die Länge konstanter Steigung Horizontale durch die gefundenen Diagrammpunkte, zugehörig zur Nivellementstrecke zieht, erhält man das aus Horizontalstücken zusammengesetzte Kraftdiagramm.

Das gezeichnete Diagramm ist unter der Voraussetzung gewonnen, dass die Geschwindigkeit auf der ganzen Strecke und bei allen Steigungen konstant ist. Demgemäss ist der in Fig. 1 oberhalb gezeichnete Fahrplan einfach in der Weise erhalten, dass die Neigung der die einzelnen Wagenfahrten darstellenden Linien konstant ist; d. h. durch den jedesmaligen Anfangspunkt ist eine Gerade nach demjenigen am Ende der Strecke gelegenen Punkt gezogen, welcher die Gesamtfahrzeit der Strecke in Minuten angibt. Die anderen, den weiteren Wagen entsprechenden Linien sind alle dieser ersten Linie parallel gezogen. Die Linien für die Rückfahrten sind ebenso in entgegengesetztem Sinne erhalten. Die Wartezeit am Ende der Strecke ist dadurch berücksichtigt, dass entsprechende Vertikalstrecken zwischen den Treffpunkten an der Ordinate links und der Ordinate rechts liegen.

Zur Zeit 0 sind die Wagen 1, 2, 3, 4 auf der Hinfahrt, die Wagen 5, 6, 7, 8 auf der Rückfahrt.

Es ist im Gegensatz zu dem mitgeteilten Diagramm, Fig. 1, auch möglich, in dem Kraftdiagramm und ebenso im Fahrplandiagramm auf verschiedenen Strecken mit verschiedenen Geschwindigkeiten zu rechnen.

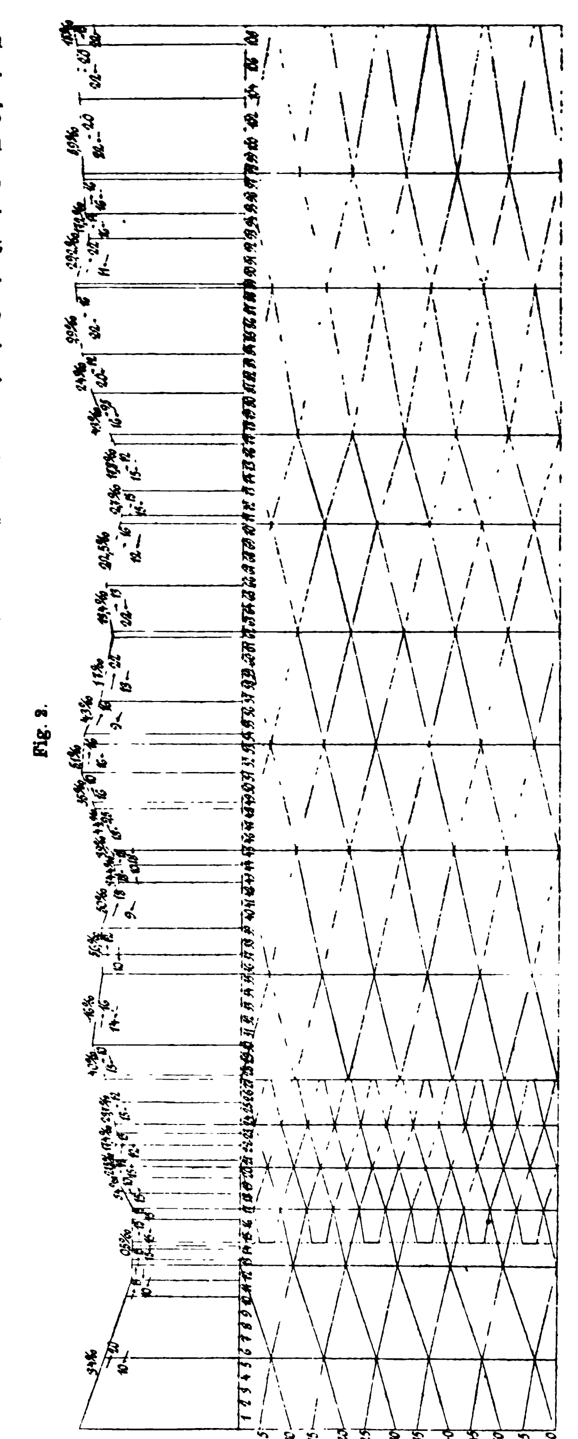
Beim Kraftdiagramm hat man dann nur nötig, den Pol α bei grösserer Geschwindigkeit von der Leitlinie proportional abzurücken und bei kleinerer Geschwindigkeit der Leitlinie entsprechend zu nähern, um durch die Abschnitte auf derselben direkt stets die Leistung in Pferdestärken zu finden.

Im Fahrplandiagramm drückt sich die verschiedene Geschwindigkeit darin aus, dass die Linien mit verschiedenen Neigungen zu ziehen sind.

Die Behandlung nach der angegebenen Methode gestattet daher

in einfacher Weise auch den Umstand zu berücksichtigen, dass häufig die Vorschrift erlassen wird, auf einer Strecke, soweit sie durch städtisches Gebiet führt, mit geringer Geschwindigkeit (z. B. 10 km pro Stunde), ausserhalb der Stadt jedoch mit grosser Geschwindigkeit (z. B. 20 km pro Stunde) zu fahren (Fig. 2).

Die Schnittpunkte der den einzelnen Wagenfahrten entsprechenden Linien miteinander ergeben stets diejenigen Stellen, an denen sich die Wagen begegnen, wo also bei eingeleisigen Bahnen die Ausweichungen liegen müssen.


Fig. 2.

Verwertung der Diagramme zur Ermittelung der Gesamtleistung.

Der Zweck unserer Betrachtungen ist, die Summe aller Einzelleistungen zu finden, welche sich in jedem Moment bei den verschiedenen Wagenstellungen ergeben, um so zur Beurteilung der erforderlichen Grösse der Kraftstation zu ge-

langen. Wir wollen sehen, was uns die hergestellten Diagramme in dieser Hinsicht liefern und was wir zu thun haben, um das Gewünschte aus denselben abzuleiten.

Mit Hilfe der Diagramme Fig. 1 ist man bereits in der Lage, ohne weiteres festzustellen, wie gross die Kraft in jedem Moment ist, die die Wagen zusammen zu ihrer regelmässigen Fortbewegung nötig haben. Man hat nur nötig, für das bestimmte in Frage kommende Zeitmoment die Stellung der verschiedenen Wagen zu ermitteln, indem man durch das Fahrplandiagramm an der betreffenden Stelle eine Horizontale zieht, und für die durch die Schnittpunkte mit den Fahrlinien in jenem Diagramm gegebenen Wagenstellungen aus dem Kraftdiagramm die Leistungen zu entnehmen und zu summieren. Dividiert man diese Anzahl Pferdestärken durch den Gesamtwirkungsgrad der Anlage, z. B. 0,65, so erhält man die Leistung an der Dampfmaschine.

Wollte man nun glauben, dass diese so ermittelte Leistung die zum Betriebe erforderliche maximale Maschinenleistung darstellt, so wäre man im Irrtum. Selbst wenn man eine ganze Reihe von Zeitmomenten in der angegebenen Weise durchprobiert und das Maximum aller Werte nimmt, wäre diese Grösse nicht diejenige Maschinenleistung, welche das Betriebsmaximum darstellt. Es kommt dies einfach aus dem schon im früheren erwähnten Grunde, dass diejenigen Faktoren noch nicht berücksichtigt sind, welche eine Abweichung von dem regelmässigen im Kraftdiagramm gegebenen Stromverbrauch bedingen. Wir sahen, dass das Anfahren, Anhalten, das unregelmässige Fahren überhaupt ziemlich plötzliche und erhebliche Stromänderungen hervorruft.

Diese Stromänderungen wären nun belanglos, wenn dieselben bei den verschiedenen Wagen zu gleicher Zeit in verschiedenem Sinne so erfolgten, dass sie sich gegenseitig aufheben würden. Hierzu liegt aber gar kein Grund vor. Die Aenderungen des Stromes erfolgen durchaus unabhängig bei den verschiedenen Wagen und werden durch das etwaige Vorhandensein einer grossen Zahl von Wagen zwar gemildert, d. h. sie machen in Prozent der Gesamtleistung weniger aus, doch werden sie dadurch nicht aufgehoben.

Nachdem wir nunmehr erkannt haben, dass der Momentanwert der Diagrammleistungen vermehrt werden muss, um die Maschinenleistung zu bestimmen, fragt sich jetzt, welche Vergrösserung jenes Wertes erforderlich ist.

Nach dem eben erwähnten Umstande, dass eine grosse Wagenzahl die Stromschwankungen abmildert, ergibt sich ohne weiteres, dass ein bestimmter prozentualer Zuschlag zum Diagrammwert keinen An-

spruch auf Berechtigung hat. Vielmehr ist klar, dass z. B. die durch das Anfahren bewirkte Unregelmässigkeit des Stromes sich bei einer Bahn mit einem oder wenigen Wagen weit mehr bemerkbar machen wird als bei einer Bahn mit sehr vielen Wagen; denn der Strom zum Anfahren macht bei einem Wagen in Prozent viel mehr aus als bei vielen Wagen.

Es kommt noch ein Umstand hinzu, der nämlich, dass die Fahrt der Wagen nicht mit derjenigen Regelmässigkeit erfolgt, die im Fahrplandiagramm wiedergegeben ist. Ferner aber wird der Wagenführer nicht mit derjenigen Regelmässigkeit und Gleichmässigkeit den Strom regulieren, als das Diagramm lehrt.

Wir werden also zunächst versuchen müssen, die unregelmässige Fahrt rechnerisch auszudrücken, und weiter eine Methode ausfindig zu machen, um diese Zahlen so zu verwerten, dass die wirklichen Betriebsverhältnisse mit allen ihren möglichen Kombinationen und Zufälligkeiten berücksichtigt werden. Eine Willkür muss hierbei vermieden werden.

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass die im nachfolgenden angegebenen Zahlenwerte keinen Anspruch auf besondere Genauigkeit machen. Da aber für die Erörterung der Methode und auch in gewissem Grade für die dabei erhaltenen Endwerte mehr der Umstand massgebend ist, dass die Faktoren überhaupt berücksichtigt werden, als die Grösse der Faktoren selbst, so sollen die Tabellen in der Form und mit den Zahlen mitgeteilt werden, in welcher sie für das erwähnte bereits ältere Projekt seiner Zeit aufgestellt worden sind. Eine Modifizierung der Faktoren und Wahl anderer Grössen für neu aufzustellende Projekte ist ohne Schwierigkeit möglich.

Für die Ermittelung der Werte der Unregelmässigkeit beginnen wir mit dem Halten.

Der Strassenbahnbetrieb basiert darauf, dass der einzelne Wagen beim Durchlaufen der Strecke an gewissen Punkten, den Haltestellen, hält. In unserer Fig. 1 sind diese im vorliegenden Falle, wie fast immer bei elektrischem Betrieb nach einer festen Disposition angenommenen Haltestellen unter dem Diagramm angegeben, und zwar für Hinfahrt und für Rückfahrt.

Befindet sich ein Wagen an der markierten Stelle, so hält er, d. h. der Strom wird plötzlich Null. Nehmen wir weiter an, dass das Halten (eigentlich die Stromlosigkeit) eine bestimmte Zeit, z. B. $^1/_2$ Minute, dauert, so geht diese Zeit für die Fahrt verloren. Um daher die dem Diagramm zu Grunde gelegte mittlere Geschwindigkeit innezuhalten, muss der Wagen ausserhalb der Haltestellen schneller

fahren, d. h. die effektive Geschwindigkeit ist grösser. Addiert man alle Haltezeiten während einer Fahrt und zieht den Betrag von der Fahrzeit ab, so erhält man die wirkliche Zeit für die Fahrt und daraus die effektive Geschwindigkeit bezw. den Zuschlag, oder die Zahl, grösser als 1, mit der die Leistung zu multiplizieren ist.

Das Wiederanfahren nach dem jedesmaligen Halten bedingt eine erfahrungsgemäss erhebliche Steigerung der Zugkraft. Da nun die Zugkraft des Hauptstrommotors mehr als proportional der Stromstärke wächst, und da die Vermehrung der Anfahrleistung sich nur auf die Reibung, nicht aber auf die Steigung bezieht, so wollen wir der Einfachheit wegen eine Vermehrung der Stromstärke im Mittel auf das 1,5fache annehmen.

Ein weiterer Punkt, der beachtet werden muss, ist der, dass am Fusse von zu durchfahrenden Bergen (Steigungen) mehr Strom eingestellt werden muss, um die Geschwindigkeit nicht zu sehr zu mässigen. Nun wird einmal der Wagenführer den Beginn des Berges gewöhnlich erst merken, wenn die Geschwindigkeit schon nachlässt, dann aber wird die Nachstellung des Reguliermechanismus für den Motor zunächst einen Ueberschuss ergeben müssen, um die erforderliche Beschleunigung zu erhalten. Beides wirkt, wie beim Anfahren, dahin, dass die Stromstärke ansteigt. Wir wollen für diese Ermittelung bei mittleren Strassenbahnwagen einen Aufwand von 2,5 PS für Beschleunigung annehmen.

Endlich sind die Kurven zu berücksichtigen. Dieselben vermehren die Reibung erheblich und sollen im folgenden in der Weise berücksichtigt werden, dass ein Mehraufwand von 5 PS bei mittleren Kurven angenommen wird. In Wirklichkeit sind natürlich die beiden letztgenannten Faktoren von dem Wagengewicht etc. abhängig.

Behandeln wir jetzt ein Diagramm nach den vorstehenden Gesichtspunkten, so haben wir folgendes zu thun.

Wir wählen ein Zeitmoment.

1. Wir stellen fest, welche Wagen halten und rechnen für dieselben die Leistung Null.

2. Das Schnellerfahren ergibt sich, wie früher aufgeführt, rechnerisch.

3. Wir multiplizieren die Diagrammwerte für die anfahrenden Wagen mit 1,5.

4. Die Wagen, welche am Fusse eines Berges stehen, erhalten einen Zuschlag von 2,5 PS.

5. Die Stellungen, welche in Kurven und Weichen liegen, werden um 5 PS erhöht.

Entwerfen wir eine Tabelle für die Wagen und die angegebenen

fünf Umstände und zählen die so erhaltenen Einzelwerte zusammen, so erhalten wir je nach der Wahl des Zeitmomentes sehr verschiedene Werte für die Summe.

Wählt man die grösste vorkommende Summe, so kann man sie als einen Wert bezeichnen, welchen die Maschinenleistung (unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades der Gesamtanlage) zweifellos mindestens besitzen muss.

Wir wollen nun untersuchen, wie man den wirklichen Maximalwert, der für die Maschine thatsächlich gilt, rechnerisch ermitteln kann.

Wir tragen hier zunächst nach, dass unser Kraftdiagramm gestattet, aus den Flächen den wirklichen Mittelwert L_m, welcher etwas oberhalb L_h liegt, zu ermitteln, unter Berücksichtigung, dass der Teil der Leistungen, welcher negativ ist, d. h. unter die Nulllinie fällt, durch Bremsung verloren geht, und dass um den Betrag dieser Flächenteile die Fläche unterhalb L_m grösser ist als diejenige zwischen L_h und der Nulllinie.

Wir können nun sagen, dass die Abweichung der nach der letzten Methode tabellarisch gewonnenen Werte von L_m so unregelmässig ausfällt, je nachdem das Zeitmoment gewählt wird, dass wir diese Abweichungen mit denjenigen Differenzen oder Fehlern vergleichen können, die z. B. bei irgend welchen physikalisch beobachteten Werten auftreten. Die Abweichungen lassen sich daher nach der Methode der kleinsten Quadrate behandeln.

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung ergibt in ihren mathematischen Normen, dass der wahrscheinlichste Wert des mittleren Fehlers ist

$$\sqrt{\frac{\Sigma(\Delta^2)}{m-n}},$$

wenn Δ die Abweichungen und m die Anzahl der beobachteten Werte ist; n ist die Anzahl der Konstanten in der Abhängigkeitsgleichung.

Ferner ist der wahrscheinlichste Wert des wahrscheinlichen Fehlers

$$0{,}674 \,.\, \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta^2)}{m-n}}.$$

Dieses ist also in unserem Fall derjenige Wert einer Abweichung von L_m, dem wirklichen mittleren Kraftbedarf, welcher bei allen möglichen Aenderungen wahrscheinlich ebenso leicht überschritten wie nicht erreicht wird.

Wir benutzen diesen Grundsatz folgendermassen:

Die Werte der nachstehenden Tabellen unter der Ueberschrift L geben die nach dem erläuterten Verfahren ermittelten Leistungen. Die Differenzen dieser Werte gegen L_m stehen unter Δ.

Tabelle I.

Wagen Nr.	Diagramm PS	1	2	3	4	5	6	*L*	Δ	Δ²
1	+ 14	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
2	+ 3,6	—	—	1,5	—	—	+ 2	7,4	− 4,5	20,25
3	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	+ 8,45	72
4	+ 3	—	—	1,5	—	—	—	4,5	+ 7,4	54,5
5	+ 20,25	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
6	+ 19	—	1,15	—	—	—	—	21,8	+ 9,9	98
7	+ 16	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
8	+ 19,75	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
9	+ 11,75	—	1,15	—	—	—	—	13,5	+ 1,6	2,56
10	+ 13	—	1,15	—	—	—	—	14,95	+ 3,05	9,3
11	+ 19,75	—	1,15	—	—	—	—	22,7	+ 10,8	117
12	+ 23,5	—	1,15	—	—	—	—	27	+ 15,1	228
13	+ 18,5	—	1,15	—	—	—	—	21,3	+ 9,4	88
14	+ 20,5	—	1,15	—	—	—	—	23,5	+ 11,6	135
15	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	+ 8,45	71,5
16	+ 32,5	—	1,15	—	—	—	—	37,3	+ 25,4	650
								200,85		2114,1

$L_h = 11,7 \qquad L_m = 11,9 \qquad A = 14 \qquad \eta = 0,65$

$$M = \left(0,674 \cdot \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta^2)}{m-1}} + L_m\right) \cdot A \cdot \frac{1}{\eta}$$

$M = 430.$

Tabelle II.

Wagen Nr.	Diagramm PS	1	2	3	4	5	6	*L*	Δ	Δ²
1	+ 3,6	—	1,15	—	—	—	—	4,15	+ 7,75	60
2	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	+ 8,45	72
3	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	+ 8,45	72
4	+ 20,25	0	—	—	—	—	—	0	− 11,9	142
5	+ 18,5	—	1,15	—	+ 2,5	+ 5	—	28,8	+ 16,9	285
6	+ 23,5	—	1,15	—	+ 2,5	—	—	29,3	+ 17,4	305
7	+ 18,75	—	—	1,5	—	—	—	28,1	+ 16,2	265
8	+ 16,2	—	1,15	—	—	—	—	18,6	+ 6,7	45
9	+ 10,4	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
10	+ 11,75	—	1,15	—	+ 2,5	—	—	16	+ 4,1	17
11	+ 19,75	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
12	+ 19,75	—	1,15	—	—	—	—	22,7	+ 10,8	117
13	+ 20,5	—	1,15	—	—	—	—	23,6	+ 11,7	138
14	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	+ 8,45	72
15	− 8,9	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
16	+ 14	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
								181,60		2158,0

$M = 430.$

Tabelle III.

Wagen Nr.	Diagramm PS	1	2	3	4	5	6	L	Δ	Δ^2
1	+ 24,5	—	1,15	—	—	—	—	28,2	+ 16,3	265
2	+ 20,25	—	1,15	—	—	—	—	23,3	+ 11,4	130
3	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	− 8,45	71
4	+ 20,25	—	1,15	—	—	+ 5	—	28,3	+ 16,4	270
5	+ 2,7	—	1,15	—	+ 2,5	+ 5	—	10,6	− 1,3	1,7
6	+ 4,9	—	1,15	—	—	—	—	5,65	+ 6,25	39
7	+ 18,8	—	1,15	—	+ 2,5	+ 5	—	29,1	+ 17,2	297
8	+ 3,75	—	1,15	—	—	+ 5	—	9,3	− 2,6	6,8
9	+ 10,4	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
10	+ 19,1	—	—	1,5	—	—	—	28,65	+ 16,66	277
11	+ 19,75	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
12	+ 19,75	—	1,15	—	+ 2,5	—	—	25,2	+ 13,3	178
13	+ 20,25	—	1,15	—	—	—	—	23,3	+ 11,4	130
14	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	+ 8,45	71
15	− 1	—	1,15	—	—	—	—	− 1,15	− 13,05	170
16	+ 14	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
								217,35		2432,5

M = 440.

Tabelle IV.

Wagen Nr.	Diagramm PS	1	2	3	4	5	6	L	Δ	Δ^2
1	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	− 8,45	71
2	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	− 8,45	71
3	+ 5,1	—	1,15	—	—	—	—	5,86	− 6,04	36,5
4	+ 18,5	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
5	+ 20,5	—	—	1,5	+ 2,5	—	—	33,3	+ 21,4	460
6	+ 12,25	—	1,15	—	—	—	—	14,1	+ 2,2	4,84
7	+ 18,4	—	1,15	—	—	—	—	21,2	+ 9,3	86,5
8	+ 0,1	—	1,15	—	—	—	—	0,15	− 11,75	138
9	+ 11,5	—	1,15	—	+ 2,5	—	—	15,7	+ 3,8	14,4
10	+ 10,4	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
11	+ 3,9	—	1,15	—	—	—	—	4,5	− 7,4	55
12	+ 19,75	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
13	+ 20,5	—	1,15	—	—	—	—	23,6	+ 11,7	137
14	+ 19,75	—	1,15	—	—	—	+ 5	27,8	+ 15,9	254
15	+ 14	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
16	+ 8,75	—	1,15	—	—	—	—	10,1	− 1,8	3,25
								163,21		1899,49

M = 420.

Mittel aus Tabelle I bis IV:

M = 430.

Wir erheben die Differenzen Δ ins Quadrat und summieren die Quadrate. Wir nehmen hier $n = 1$ an, dividieren $\Sigma(\Delta^2)$ durch die Zahl $m - 1$ und multiplizieren die Wurzel mit 0,674. Dann haben wir die wahrscheinliche Differenz gegen L_m gefunden.

Die wahrscheinliche Maximalleistung ergibt sich dann nach der Gleichung

$$M = \left(0,674 \cdot \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta^2)}{m-1}} + L_m\right) \cdot A \cdot \frac{1}{\eta},$$

worin A die Anzahl der gleichzeitig fahrenden Wagen (d. h. der Wagen abzüglich Standwagen an den Enden) ist und η der Totalwirkungsgrad der Anlage zwischen Dampfmaschine und Wagenachse.

Die vorstehenden vier Tabellen zeigen diese Ermittelungen für vier verschiedene Momente.

In den Tabellen bedeutet:

1. Anhalten,
2. Schnellerfahren,

17 Haltestellen à 0,5 Minuten . .	8,5	Min.
durchschnittlich die Hälfte . . .	4,25	„
Fahrzeit	34	„
Differenz	29,75	Min.

Daher effektive Geschwindigkeit

$$\frac{34}{29,75} \cdot 15 = 17 \text{ km pro Stunde},$$

$$\text{Koëffizient } \frac{17}{15} = 1,15.$$

3. Anfahren,
4. Beschleunigen am Fusse des Berges,
   Koëffizient 1,5,
5. Kurven + 5 PS,
6. Weichen.

Die erörterte Rechnung begründet sich auf die Abweichung von L_m, der mittleren Effektivleistung.

Wir wollen nun zeigen, dass man auch auf ganz anderem Wege nach einem ähnlichen Verfahren mit gleichen Grundsätzen M ermitteln kann.

Nehmen wir die Summen von L in den vier Tabellen, so erhalten wir vier sehr verschiedene Werte. Bilden wir deren Mittel und rechnen die Differenzen der Werte gegen ihr eigenes Mittel aus, so bekommen wir die wirklichen Abweichungen vom Mittel der Beobachtungen.

Wir können nun sagen, es sind noch eventuell viel grössere Abweichungen vom Mittel möglich, als die vier Tabellenwerte ergeben haben.

Setzen wir jetzt voraus, dass solche Stromstärken, die nicht wenigstens 1 Minute dauern, uns nicht in Bezug auf die erforderliche Maschinenleistung interessieren, und dass z. B. Zehnminutenverkehr stattfindet, so ergibt sich, dass unter den 10 Minuten, die eine Periode bilden, ein Zehntel der Zeit diese Stromstärke besitzen muss.

Wir bekommen nun die mittlere Abweichung vom Mittel der Beobachtung in ähnlicher Weise wie früher als

$$\sqrt{\frac{\Sigma(\delta^2)}{m}}$$

und den wahrscheinlichsten Wert der wahrscheinlichen Abweichung (d. h. derjenigen, die unter den verschiedenen Kombinationen bezw. Zeitmomenten die wahrscheinlichste ist)

$$0{,}674 \, . \sqrt{\frac{\Sigma(\delta^2)}{m}}.$$

Nun lehrt die Wahrscheinlichkeitsrechnung weiter, dass die Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine Abweichung z. B. das 2,5fache der wahrscheinlichen Abweichung nicht überschreitet, 0,908 ist oder rund 90%.

Wir sahen aber eben, dass bei Zehnminutenverkehr ein Zehntel der Zeit den Wert der grössten Abweichung haben muss.

Bringen wir dies mit dem Wahrscheinlichkeitssatz in Verbindung, so erkennen wir, dass es dann wahrscheinlich ist, dass mindestens 9 Zehntel der Zeit eine hier zu betrachtende maximale Abweichung von dem Mittel der Beobachtungen nicht überschreitet, wenn diese maximale Abweichung das 2,5fache von der wahrscheinlichen Abweichung ist.

Das heisst, ins Praktische übersetzt, wenn P_m das Mittel der Beobachtungen ist, wird

$$M = \left(0{,}674 \, . \sqrt{\frac{\Sigma(\delta^2)}{m}} \, . \, \alpha + P_m\right) . \, \frac{1}{\eta}.$$

Hierin ist α der im Beispiel gleich 2,5 ermittelte Faktor.

Da nun nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung zur Wahrscheinlichkeit 0,908 der 2,5fache Betrag der wahrscheinlichen Abweichung gehört, zur Wahrscheinlichkeit 0,950 aber der 2,9fache Betrag und dieser Wert dem Zwanzigminutenbetrieb entspricht u. s. w., so ist zu nehmen für

Fünfminutenbetrieb . . $\alpha = 1{,}9$
Zehnminutenbetrieb . . $\alpha = 2{,}5$
Fünfzehnminutenbetrieb . $\alpha = 2{,}7$
Zwanzigminutenbetrieb . $\alpha = 2{,}9$.

Nach den Tabellen ist die Totalleistung:

$$\begin{array}{r} P = 200{,}85 \\ P = 181{,}60 \\ P = 217{,}35 \\ P = 163{,}21 \\ \hline P_m = 191 \end{array}$$

und bei $\eta = 0{,}65$ und Zehnminutenbetrieb

$$M = 345,$$

ein Wert, der etwas kleiner ist als der nach der ersten Methode gefundene. Dies hängt teilweise damit zusammen, dass jene Zahl das äusserste Maximum, diese jedoch den etwas länger andauernden Betrag darstellt.

Berechnung der Maschinenleistung für eine Bahnstrecke auf Grund des Wattstundenverbrauches pro Wagenkilometer.

Wir führen folgende Bezeichnungen ein:

K = Länge der Strecke (hin und zurück in Kilometer),
t = Minutenfolge der Züge,
t_1 = Dauer des Aufenthaltes an den Endstationen bei jeder Rundfahrt,
V = Geschwindigkeit in Kilometer pro Stunde,
W_1 = Wattstunden pro Tonnenkilometer,
W_z = Wattstunden pro Zugkilometer,
L_m = mittlere Leistung pro fahrenden Zug in Watt,
L_s = " " für die ganze Strecke in Watt,
L_h = Leistung für horizontale Strecke pro fahrenden Zug in Watt.

Ferner sollen bedeuten, ähnlich wie bei den früheren Berechnungen:

A = Anzahl der gleichzeitig fahrenden Züge,
A_t = " " auf der Strecke befindlichen Züge,
f = Traktionskoëffizient in Kilogramm pro Tonne,
s = Steigung in pro mille,
T = Gewicht des Zuges in Tonnen,
η = totaler Wirkungsgrad des elektrischen Antriebes,
$c = \dfrac{9{,}81}{3{,}6 \times \eta}$.

Auf Grund dieser Begriffsdefinitionen können wir folgende Ueberlegungen und Berechnungen anstellen:

Der Wattstundenverbrauch pro Tonne ohne Berücksichtigung des Anfahrens beläuft sich für das Kilometer auf

$$W_1 = f \, . \, c \text{ Wattstunden,}$$

wenn die Strecke horizontal ist oder Steigungen aufweist, bei denen stets f grösser als s ist, bei denen also, wenn sie bergab befahren werden, ein Bremsen nicht erforderlich wird.

Zu dieser Gleichung können wir auf zwei Wegen gelangen, einmal, indem wir die technischen Grössen für die Leistung umrechnen, und dann, indem wir direkt die physikalischen Grössen ableiten.

1. Technische Ableitung.

An früherer Stelle ermittelten wir, dass die Leistung für einen Zug ist

$$L = \frac{(f + s) \, . \, T \, . \, v}{75}.$$

Hierin ist v die Geschwindigkeit in Meter pro Sekunde. Führen wir unser hier definiertes V ein, so erhalten wir

$$L = \frac{(f + s) \, . \, T \, . \, V}{3{,}6 \, . \, 75} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

Pferdestärken.

Ist der Wirkungsgrad des Motors einschliesslich Räderübersetzung, wie oben bezeichnet, η, so wird die Leistung, welche dem Zug zugeführt werden muss,

$$L_z = \frac{(f + s) \, . \, T \, . \, V}{3{,}6 \, . \, 75 \, . \, \eta}$$

in Pferdestärken, oder, da eine Pferdestärke gleich 736 Watt ist,

$$L_z = \frac{(f + s) \, . \, T \, . \, V \, . \, 736}{3{,}6 \, . \, \eta \, . \, 75} \text{ Watt.} \quad \ldots \ldots \quad 4)$$

Pro Stunde werden V Kilometer gefahren, daher ist pro Kilometer ein Aufwand von

$$\frac{(f + s) \, . \, T \, . \, V \, . \, 736}{3{,}6 \, . \, \eta \, . \, 75 \, . \, V} = \frac{(f + s) \, . \, T \, . \, 736}{3{,}6 \, . \, \eta \, . \, 75} \quad \ldots \quad 5)$$

Wattstunden erforderlich.

Unter der Annahme, dass nie gebremst wird, ist stets $f > s$ und der Aufwand bei Hin- und Rückfahrt durchschnittlich pro Kilometer

$$\frac{f \, . \, T \, . \, 736}{3{,}6 \, . \, \eta \, . \, 75} \text{ Wattstunden.} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 6)$$

Da der Wert $\frac{736}{75} = 9{,}81$ ist und wir den Faktor $\frac{9{,}81}{3{,}6 \, . \, \eta} = c$ gesetzt hatten, so lautet demnach die **Formel** für den Wattstundenverbrauch pro Zugkilometer

$$W_z = c \, . \, f \, . \, T. \quad \ldots \ldots \ldots \quad 7)$$

Aus derselben ergibt sich ohne weiteres die Gleichung des Wattstundenverbrauchs für das Tonnenkilometer, indem wir durch T dividieren. Daher ist unter der Annahme $f > s$

$$W_1 = c \, . \, f,$$

wie oben bemerkt.

Für eine einzelne Fahrt auf bestimmter Steigung s ist analog

$$W_1 = c \, . \, (f + s) \text{ und } W_z = c \, . \, (f + s) \, . \, T, \quad \ldots \quad 8)$$

und auf derselben Steigung bei Thalfahrt, wenn $f > s$ ist,

$$W_1 = c \, . \, (f - s) \text{ und } W_z = c \, . \, (f - s) \, . \, T. \quad \ldots \quad 9)$$

Ist dagegen $f < s$, so wird im letzten Fall gebremst, und es ist

$$W_1 = 0. \qquad W_z = 0.$$

2. Ableitung aus den physikalischen Begriffen.

Für horizontale Strecke ist eine Zugkraft notwendig von f Kilogrammgewicht pro Tonne und eine Totalzugkraft von

f . T Kilogrammgewicht.

Die Arbeit, welche pro Meter Fahrt am Radumfang geleistet wird, ist

f . T . (1 m) gemessen in Kilogrammmeter.

Das Kilogrammgewicht ist als eine Kraft gleich der Kilogrammmasse × Beschleunigung.

Die Beschleunigung wird mit rund 9,81 angenommen.

Daher das Kilogrammgewicht = Kilogrammmasse × 9,81.

Die Arbeit pro Meter Fahrt kann somit ausgedrückt werden als

f . T . 9,81 Kilogramm-(Massen × Beschleunigungs-)Meter . 10)

Der weitere Gang der Ermittelung kann in verschiedener Weise erfolgen. Wir verfahren beispielsweise wie folgt. Die Dimension dieses physikalischen Begriffes werde ausgedrückt in den Einheiten der Masse m, der Länge l und der Zeit t. Wir bemerken dabei, dass die Beschleunigung den Differentialausdruck besitzt

$$\frac{d^2 s}{d t^2}.$$

In diesem hat der zweite Differentialquotient $d^2 s$ die Dimension der Länge l, der Nenner denjenigen des Quadrates der Zeit t, die Dimension der Beschleunigung ist daher

$$\left[\frac{l}{t^2}\right]$$

und demgemäss diejenige unseres obigen Begriffes

$$\left[\frac{m\,l}{l} \cdot \frac{l}{t^2}\right] = \left[\frac{m\,l}{t^2}\right].$$

Wir wählen nun, um den Uebergang zu der gleichwertigen elektrischen Grösse zu finden — wir nehmen hierbei an, wir wüssten noch nicht, dass es Wattsekunden sind —, eine beliebige bekannte Grösse, zweckmässig vielleicht die Elektrizitätsmenge. Deren Dimension ist

$$\left[m^{\frac{1}{2}}\, l^{\frac{1}{2}}\right].$$

Diese Dimension muss mit noch einer weiteren multipliziert werden, um die in Rede stehende $\left[\frac{m\,l}{t^2}\right]$ zu erhalten. Der Faktor ist $\left[\frac{m^{\frac{1}{2}}\, l^{\frac{1}{2}}}{t^2}\right]$. Die Dimension, welche der Spannung entspricht, hat nun aber die Dimension $\left[\frac{m^{\frac{1}{2}}\, l^{\frac{3}{2}}}{t^2}\right]$, unterscheidet sich also um den Faktor l von diesem Mass. Wir stellen daher fest, unser Begriff hat die Dimension

$$\frac{\text{Elektrizitätsmenge} \times \text{Spannung}}{\text{Länge}}.$$

Die Elektrizitätsmenge ist aber bekanntermassen gleich Strom $\times$ Zeit. Wir erhalten daher in unserem Ausdruck, unter Berücksichtigung, dass Spannung $\times$ Strom dem technischen Begriff Watt entspricht, einen gleichwertigen mit $\frac{\text{Wattsekunden}}{\text{Meter}}$, und da die technischen Masse mit den absoluten nur durch Potenzen von 10 verbunden sind, so muss unser Begriff

$$10^x \,.\, f \,.\, T \,.\, 9{,}81 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 11)$$

Wattsekunden pro Meter bedeuten oder

$$10^x \,.\, \frac{f \,.\, T \,.\, 9{,}81}{3600} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 12)$$

Wattstunden pro Meter.

Da wir in Kilogramm und Meter statt Gramm und Centimeter gemessen haben, fehlt bei Gleichsetzung der Faktor $1000 \,.\, 100 = 10^5$.

Nun ist die Arbeit im absoluten Masssystem mit derjenigen im konventionellen Masssystem verbunden durch den Faktor 10^7. Oben handelte es sich um den Begriff Arbeit pro Meter oder pro 100 cm, somit ist der Faktor 10^5 zur Gleichsetzung einzuführen und demgemäss wird $x = 0$ und $10^x = 1$, entfällt daher aus der Gleichung. D. h. es sind pro Meter Fahrt

$$\frac{f.T.9{,}81}{3600} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 13)$$

und pro Kilometer

$$\frac{f.T.9{,}81}{3{,}6} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 14)$$

Wattstunden erforderlich.

Unter Einführung des Wirkungsgrades η der motorischen Uebertragung bis zu den Laufrädern sind pro Wagenkilometer aufzuwenden

$$\frac{f.T.9{,}81}{3{,}6.\eta}\ \text{Wattstunden} = f.T.c = W_z.$$

Dieser für horizontale Strecke berechnete Wert gilt, wie oben auseinandergesetzt, auch, solange $f > s$ ist, für Hin- und Rückfahrt auf derselben Strecke.

Die bisher gemachte Bedingung f grösser als s wird nicht immer erfüllt sein, im Gegenteil wird sich, wie auch bei den an anderer Stelle behandelten Beispielen ergeben, dass bei den Thalfahrten stellenweise Energie weggebremst werden muss und demgemäss die hier in Wattstunden ausgedrückte mittlere Leistung L_m für die Strecke, wenn sie hin und zurück befahren wird, nicht gleich, sondern grösser als L_h sein muss. Hieraus ergibt sich, dass der Wattstundenverbrauch pro Tonnenkilometer im allgemeinen dargestellt wird durch die Gleichung

$$W_1 = f.c.\frac{L_m}{L_h}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad 15)$$

Hierbei ist der Einfluss des Anfahrens entweder als vernachlässigt oder in c mitberücksichtigt anzusehen.

Der Wattstundenverbrauch pro Zugkilometer ist nach obiger Gleichung

$$W_z = T.W_1 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 16)$$

und da V Kilometer in der Stunde gefahren werden, die mittlere Wattleistung pro fahrenden Zug

$$L_m = V.W_z. \quad \ldots\ldots\ldots \quad 17)$$

Die Anzahl der gleichzeitig fahrenden Züge ist aber

$$A = \frac{60.K}{V.t}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad 18)$$

somit wird

$$L_s = A \, . \, L_m = \frac{60}{t} \, . \, K \, . \, W_z \quad \ldots\ldots \quad 19)$$

die mittlere Wattleistung für die ganze Strecke.

Die gesamte Anzahl der auf der Strecke befindlichen Züge ist natürlich grösser als A und zwar

$$A_t = \frac{\frac{60 \, . \, K}{V} + t_1}{t}. \quad \ldots\ldots \quad 20)$$

Mit Hilfe dieser Formeln ist man im stande, die mittlere Wattleistung und demgemäss auch die mittlere Stromstärke für die Bahn zu berechnen. Man kann auch durch Substitution direkt erhalten

$$L_s = \frac{60}{t} \, . \, K \, . \, T \, . \, f \, . \, c \, . \, \frac{L_m}{L_h}. \quad \ldots\ldots \quad 21)$$

Ausgeschlossen ist hierbei noch der Wirkungsgrad der Leitungsanlage, bei dessen Berücksichtigung im Betrage von η' man die mittlere von der Kraftstation (Schaltbrett) ausgehende Leistung erhält, als

$$L = \frac{L_s}{\eta'}. \quad \ldots\ldots \quad 22)$$

In den vorstehenden Formeln kommt das Verhältnis

$$\frac{L_m}{L_h}$$

vor, das zunächst noch als unbekannte Grösse zu behandeln ist, von dem aber gesagt werden kann, dass dasselbe, wenn die zu befahrende Strecke nur geringe Steigungen aufweist, annähernd gleich eins gesetzt werden kann, mit anderen Worten: der Faktor

$$\frac{L_m}{L_h}$$

fällt z. B. bei Strassenbahnen mit vorwiegend horizontalen Strecken fort.

Trifft diese Voraussetzung aber nicht zu, kommen also oft Strecken vor, auf welchen bei der Thalfahrt gebremst werden muss, so ist es notwendig, das Verhältnis

$$\frac{L_m}{L_h}$$

zu ermitteln.

Hierbei dient uns naturgemäss die Ueberlegung zur Richtschnur, dass zu unterscheiden ist zwischen solchen Teilen der Bahnstrecke, bei welchen

f grösser als s

und solchen Teilen, bei welchen

f kleiner als s

ist.

Lassen wir, wie wir in diesem speziellen Falle voraussetzen, alle Strecken in beiden Richtungen durchfahren, was ja bei Strassenbahnen im allgemeinen zutrifft, so ist offenbar bei den Strecken

f grösser als s

der Energieaufwand bei der Summierung von Hin- und Rückfahrt so gross, als wenn

$$s = 0$$

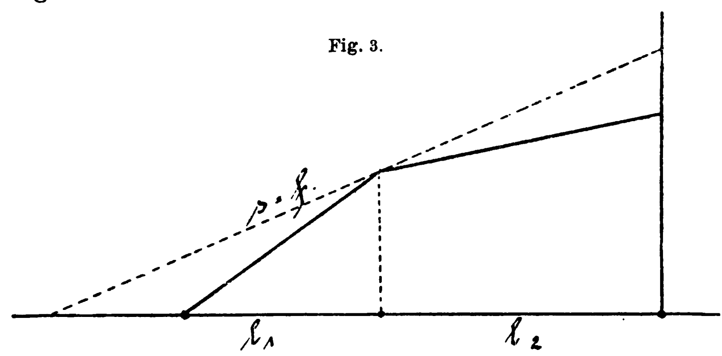
wäre.

Auf denjenigen Strecken jedoch, bei denen

s grösser als f

ist, erfolgt bei Summierung der Hin- und Rückfahrt ein Mehraufwand an Energie.

Fig. 3.



In Fig. 3 sei prinzipiell eine Bahnstrecke dargestellt, welche aus zwei Teilen

l_1 und l_2

besteht, von welchen l_1 starke Steigungen

mit s grösser als f,

l_2 dagegen nur geringere Steigungen

mit f grösser als s

aufweist.

Wird die Strecke im Sinne der Figur von links nach rechts durchfahren, so erhalten wir auf der Strecke l_1 den Wattstundenverbrauch, abgesehen von den konstanten Gliedern c und T, welche für die ganze Strecke gelten, gleich

$$l_1 \cdot (f + s_1)$$

und für die Strecke l_2 in derselben Weise gleich

$$l_2 \,.\, (f + s_2).$$

Bei der Rückfahrt, d. h. in der Figur von rechts nach links, muss auf der Strecke l_1 gebremst werden; wir erhalten daher für diesen Teil 0; l_2 liefert dagegen den Betrag

$$l_2 \,.\, (f - s_2),$$

demgemäss liefert Hin- und Rückfahrt für l_1 einen Aufwand von

$$l_1 \,.\, f + l_1 \,.\, s_1,$$

der Teil l_2 dagegen einen Betrag

$$2 \,.\, l_2 \,.\, f.$$

Die Summierung ergibt also

$$f \,.\, (l_1 + 2 l_2) + l_1 \,.\, s_1,$$

was wir auch in der Form schreiben können:

$$f \,.\, (l_1 + 2 l_2) + l_1 \,.\, (f + s_1 - f).$$

Der Ausdruck wird daher gleich:

$$2 \,.\, f\,(l_1 + l_2) + l_1 \,.\, (s_1 - f).$$

Der Wert der Wattleistung L_s ergibt sich daher proportional dem Betrage

$$\frac{2 \,.\, f\,(l_1 + l_2) + l_1 \,.\, (s_1 - f)}{2\,(l_1 + l_2)} = f + \frac{l_1 \,.\, (s_1 - f)}{2\,(l_1 + l_2)}.$$

Dieser Wert tritt, wie leicht ersichtlich, an Stelle des Faktors f bei horizontaler Strecke in allen entsprechenden Formeln, sein Verhältnis zu f ist daher gleichzeitig dasjenige von L_m zu L_h, d. h. es ist zu setzen

$$\frac{L_m}{L_h} = \frac{f + \frac{l_1\,(s_1 - f)}{2\,(l_1 + l_2)}}{f} = 1 + \frac{l_1\,(s_1 - f)}{2\,(l_1 + l_2) \,.\, f}.$$

Dieser Wert lässt die Mehrleistung infolge der starken Steigungen im Verhältnis zu der Leistung auf der Horizontalen erkennen.

Führen wir daher diesen Wert für $\frac{L_m}{L_h}$ in die aufgelöste Gleichung 21) für L_s ein, so erhalten wir, indem wir gleichzeitig an Stelle von

$$2\,(l_1 + l_2)$$

den Wert K substituieren,

$$L_s = \frac{60}{t} \,.\, K \,.\, T \,.\, c \,.\, f\left(1 + \frac{l_1\,(s_1 - f)}{K \,.\, f}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 23)$$

Der Fall liegt nun nicht so einfach, wie in der Fig. 3 dargestellt, vielmehr werden stärkere und geringere Steigungen wechseln, so dass

ein mehr unregelmässiges Bild (Fig. 4) entsteht. Dies ändert jedoch die Behandlung nur insofern, als eine Strecke l_1 zu konstruieren ist, bei welcher

s grösser als f

ist, und eine zweite Strecke l_2, bei welcher

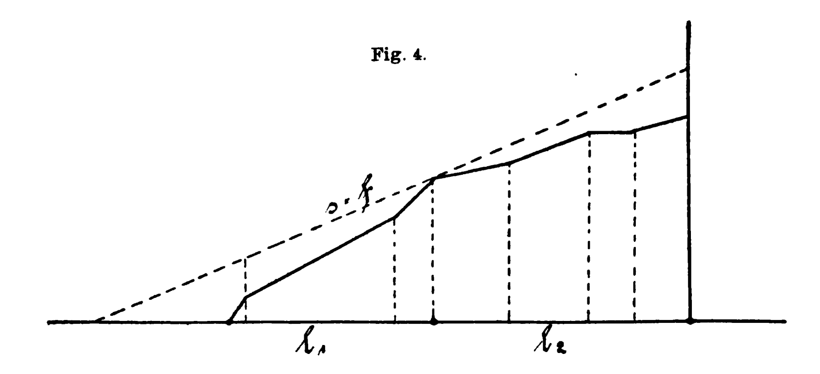
f grösser als s

ist, wobei dann sowohl l_1 als l_2 aus einzelnen Teilen mit verschiedenartigen Steigungen zusammengesetzt ist.

Praktisch ist also nichts weiter zu thun, als die Teilstrecken zu ermitteln mit der Eigenschaft s grösser als f, und dieselben zu summieren zum Gesamtbetrage l_1; der Rest der Strecke ist dann l_2.

Die Teilstrecken, aus denen l_1 besteht, sind dabei ferner so aneinander zu reihen, dass man eine einheitliche Steigung von dem einen

Fig. 4.



Endpunkte bis zum anderen Endpunkte erhält, deren Gesamtbetrag, d. h. die mittlere Steigung dieser Gesamtstrecken, als s_1 in die Formel für L_s einzusetzen ist.

Das im vorstehenden auseinandergesetzte Verfahren der Ermittelung für die Wattleistung ist verhältnismässig bequem, wenn man

$$\frac{L_m}{L_h}$$

gleich eins setzen kann, nämlich in dem Falle, dass der Einfluss der Steigungen verschwindend gering ist, gestattet aber auch, wie zum Schlusse gezeigt wurde, den Einfluss der Steigungen genau zu berücksichtigen.

Wenn nun schon diese Methode sehr bequem und schnell zum Ziele führt, so hat sie doch den Mangel, dass sie nur die mittlere Leistung, nicht aber die maximale liefert.

Insoweit es sich aber um die Berechnung von Bahnen handelt, welche mit Pufferbatterien arbeiten (vergl. diesen Abschnitt), bietet die Methode ein bequemes Mittel, die Maschinenleistung schnell zu ermitteln, und es bleibt dann nur noch die Berechnung und Feststellung der Akkumulatorengrösse übrig.

Dies gilt unter der unten näher zu erläuternden Voraussetzung, dass bei Anlagen mit Pufferbatterie die Maschinen thatsächlich den mittleren Strom zu decken haben und die Batterie die Mehr- oder Minderleistung, welche momentan erforderlich ist, ausgleicht.

Es erübrigt noch, darauf hinzuweisen, dass man auf die vorstehend beschriebene Art und Weise unter Zugrundelegung von Näherungs- oder Mittelwerten sofort eine Bahnzentrale disponieren kann.

Nehmen wir beispielsweise an, dass die Bahn pro Tonnenkilometer 50 Wattstunden erfordert und dass die Strassenbahnwagen mit einer effektiven Spannung von 500 Volt arbeiten, so würde die Stromstärke, welche die gesamte Bahn im Mittel erfordert, betragen:

$$J_m = \frac{60}{t} . K . T . \frac{50}{500} = \frac{6 . K . T}{t} \quad . . . . \quad 24)$$

Einfluss der Verwendung stationärer Akkumulatoren (Pufferbatterien).

Es ist bereits seit langer Zeit in Betracht gezogen und erörtert worden, ob die Verwendung von Akkumulatorenbatterien, die sich ja bekanntlich in Zentralen für Licht- und Kraftabgabe vorzüglich bewährt haben, und welche ein bequemes Mittel an die Hand geben, die in den verschiedenen Tagesstunden auftretenden Variationen der Stromentnahme auszugleichen und ökonomische Belastung der Maschinen herbeizuführen, nicht auch im Bahnbetriebe zulässig oder vorteilhaft erscheint.

Erst in letzter Zeit jedoch hat man angefangen, diesen Gedanken mehr und mehr zu verwirklichen und demgemäss bestehende Bahnanlagen durch Hinzufügung von Akkumulatorenbatterien zu vervollständigen und erweitern und Neuanlagen von vornherein mit Akkumulatorenbatterien auszurüsten. Man hat die Wirkung der Batterien, welche bei Strassenbahnen verwendet werden, mit der Pufferwirkung verglichen, da der Zweck derselben in diesem Falle hauptsächlich darin besteht, die plötzlich auftretenden Stromstösse aufzufangen und ihren eventuell schädlichen Einfluss auf die Maschinenanlage zu beheben.

Der Name Pufferbatterie hat sich inzwischen vollkommen eingebürgert.

Gehen wir auf diese Pufferwirkung näher ein und betrachten den Nutzen einer solchen Akkumulatorenbatterie, so erkennen wir folgendes:

Die Wirkungsweise der Akkumulatoren ist in unserem Falle naturgemäss grundsätzlich etwas verschieden von derjenigen in Lichtzentralen. Es handelt sich bei Bahnen nicht oder doch weniger um einen Ausgleich der Belastung in der Weise, dass eine wesentliche Aufspeicherung an Energie zu Zeiten geringen Bedarfs und einer Stromabgabe zu anderen Zeiten stattfindet, sondern der Unterschied, welcher sich zwischen der mittleren Stromstärke und der maximalen Stromstärke einerseits und der minimalen Stromstärke andererseits ergibt, soll durch die Batterie in positivem und negativem Sinne gedeckt werden. Man erreicht dabei, dass die Maschinen nur mit der mittleren Stromstärke beansprucht werden und für dieselbe zu dimensionieren sind, während die Differenz gegen die maximale Stromstärke aus den Akkumulatoren entnommen wird. In gleicher Weise wirken die Pufferbatterien bei den Entlastungen der Zentrale stromaufnehmend und der Erfolg ist der, dass die Maschinenstromstärke mehr oder weniger konstant ausfällt, bei der Batterie jedoch fortwährend Ladung und Entladung abwechselt.

Wir erkennen hieraus, dass bei den Pufferbatterien eine ganz eigenartige Beanspruchung eintritt. Dieselben müssen offenbar im stande sein, den plötzlichen Wechsel von Ladung und Entladung und das Auftreten ziemlich grosser Stromstösse anstandslos und dauernd zu ertragen, während eine grosse Kapazität nicht erforderlich ist, da eine anhaltende Entladung der Batterien im allgemeinen nicht erfolgen soll.

Diese Anforderungen haben dahin geführt, im vorliegenden Falle Platten von besonderer Konstruktion zu verwenden. Insbesondere hat die Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft in Hagen, welche frühzeitig als eifrige Verfechterin des Gedankens der Pufferbatterien aufgetreten ist, eine Plattenform gewählt, die eine sehr grosse Oberfläche und nur wenig aktive Masse besitzt. Die erwähnte positive Platte dieser Gesellschaft hat zahlreiche dünne Rippen und wird ohne Hinzunahme von eingeschmierter Masse formiert.

Den gleichen Gedanken, eine grosse Oberfläche zu gewinnen, finden wir bei den Akkumulatoren der „Akkumulatorenwerke, System Pollak“ dadurch verwirklicht, dass bei den Pufferbatterien dieser Firma die feinen Häkchen oder Zähne, mit welchen die Oberfläche der Platte bedeckt ist, besonders zahlreich und feiner gestaltet sind, als bei stationären Batterien. Die Platten werden jedoch in der üblichen Weise mit aktiver Masse ausgeschmiert und dann formiert.

Andere Akkumulatorenfabriken, welche Gitterplatten und dergleichen verwenden, wie z. B. die Kölner Akkumulatorenwerke, Gottfried Hagen, Kalk bei Köln, benutzen dieses Plattensystem auch für Pufferbatterien, eventuell unter geringen Abänderungen, welche bezwecken, die Menge der Füllmasse zu reduzieren, oder sie konstruieren für Pufferbatterien Platten von abweichender Anordnung.

Auf die ursprüngliche Ausführung mit ungeschmierten Platten sind eine Reihe von Akkumulatorenfirmen zurückgekommen, unter anderen z. B. die Wittener Akkumulatorenwerke, welche übrigens für alle Arten von Akkumulatoren stark gerippte Platten verwenden.

Abweichend füllen bei Batterien für grosse Beanspruchung (Traktionsbatterien) die Watt-Akkumulatorenwerke Berlin die Zwischenräume zwischen den Platten mit poröser Masse aus.

In betreff der negativen Platten ist zu erwähnen, dass dieselben vielfach eine andere Konstruktion besitzen als die positiven, und zwar aus dem Grunde, weil dieselben, wenn sie formiert sind, nicht wie die positiven aus Oxyden, sondern aus reduziertem Blei bestehen und demgemäss andere Eigenschaften, insbesondere in Bezug auf die Haltbarkeit, besitzen. Diejenigen Fabrikanten, welche die positiven Platten mit Masse ausschmieren, verwenden gewöhnlich gleiche Platten auch als negative.

Wie auch die Ausführung der positiven und negativen Platten gewählt sein mag, das Gemeinsame ergibt sich stets, dass die Beanspruchung der Platten in Bezug auf Stromstärke eine wesentlich grössere ist als bei Lichtbatterien und die hierbei garantierte Kapazität in Ampèrestunden wesentlich kleiner.

Legen wir uns nun die Frage vor, welche Bedingungen zu erfüllen sind, um ein zweckmässiges Arbeiten der Pufferbatterien zu erreichen, so haben wir folgendes zu berücksichtigen:

Die ersten Akkumulatoren, welche bei Bahnen verwendet wurden, hatten eine im Verhältnis zur mittleren Maschinenstromstärke erhebliche Leistung. Dieselben waren im stande, fast die gleiche Stromstärke wie die Maschine mehrere Stunden lang herzugeben.

Vergleichen wir nun aber in den Preislisten über Pufferbatterien die grössten normal zulässigen Stromstärken mit den grössten Stromstärken für die entsprechenden Lichtbatterien, so finden wir, dass bei gleicher Plattenzahl und -grösse bei den Pufferbatterien eine weit grössere Stromstärke als normal zulässig angegeben ist, wie bei den Lichtbatterien.

Nach einer nunmehr ungültig gewordenen, aber lange Zeit in Gebrauch gewesenen Preisliste ist z. B. bei der Type „E 23“ für

Lichtbatterien der „Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft" die höchstzulässige Entladestromstärke 180 Ampère, während bei derselben Type „ES 23" für Pufferbatterien die maximale Entladestromstärke 370 Ampère beträgt, also mehr als das Doppelte.

Da nun Element E 23 und ES 23 ähnlich waren, indem die Fabrik die gleiche Plattentype auch für die Lichtbatterien zur Anwendung gebracht hatte, so muss man, um einen Vergleich anzustellen, mit den ersten zur Verwendung gelangten Pufferbatterien, bei welchen die Kapazität bei mehrstündiger Entladung angegeben worden ist, die Stromstärke auf gleiches Mass reduzieren.

Ist demgemäss eine der älteren Pufferbatterien etwa für die gleiche Stromstärke wie die Maschinenleistung bemessen, jedoch bei 3stündiger Entladung, so hat man beim Vergleich mit neueren (siehe E.T.Z. 1894, 26) Pufferbatterien etwa die doppelte Stromstärke einzusetzen. Aehnliches gilt für Fabrikate anderer Firmen.

Hieraus erkennt man, dass die sehr vollkommene Gleichhaltung der Maschinenstromstärke und auch der Spannung bei jenen ersten Anlagen wesentlich der erheblichen Grösse der Batterien zu verdanken ist.

Will man dieselben Verhältnisse bei Neuprojektierungen erreichen, so muss man auch nach den gleichen Grundsätzen verfahren und sehr grosse Batterien wählen, denn der hauptsächlich massgebende Faktor ist die Anzahl und Grösse der Platten. Der Nichtberücksichtigung dieses Umstandes und demgemäss der Wahl sehr kleiner Plattentypen dürfte es zuzuschreiben sein, wenn vielleicht in einzelnen Fällen die beabsichtigte Wirkung neu aufgestellter Pufferbatterien nicht erzielt worden ist.

Es führt uns diese Beobachtung naturgemäss zu der Frage, nach welchen Grundsätzen man bei der Wahl einer Pufferbatterie zu verfahren hat. Voraussetzung ist selbstverständlich, dass uns die mittlere Stromstärke bekannt ist. Wir haben im früheren Abschnitte gesehen, dass dieselbe sich unter Zugrundelegung entsprechender Zahlenwerte leicht ermitteln lässt.

Ferner muss uns die maximale Stromstärke, und zwar mit Sicherheit, bekannt sein.

Es ist nun offenbar Erfordernis, dass die Dynamomaschinenanlage mindestens die mittlere Stromstärke leisten kann; die Differenz dagegen zwischen maximaler und mittlerer Stromstärke fällt normalerweise der Batterie zu.

Berücksichtigen müssen wir aber, dass die mittlere Stromstärke, welche die Maschine zu leisten hat, bei Verwendung von Akkumulatoren

in unserem Normalfall grösser ist als die mittlere aus dem Wattstundenverbrauch abgeleitete Stromstärke des Bahnbetriebes an sich, denn es ist klar, dass in den Akkumulatoren, die fortwährend geladen und entladen werden, ein Energieverlust stattfindet. Die Höhe desselben richtet sich nach den Betriebsverhältnissen der Bahn und auch nach der Grösse der gewählten Batterien.

Den Betrag im voraus zahlenmässig anzugeben, wird kaum möglich sein, man wird vielmehr zu Näherungswerten greifen müssen und beispielsweise die Maschinenleistung 5—10 % höher wählen als die mittlere berechnete Stromstärke. Man hat sich hierbei auch gegenwärtig zu halten, dass bei allen Zahlenermittelungen für Bahnen eine gewisse Unsicherheit nicht zu vermeiden ist, und dass bei der Verschiedenartigkeit der Fabrikate der Akkumulatorenfabriken ein allgemein gültiges Resultat nicht zu erzielen ist.

Haben wir nunmehr, wie vorstehend, die Maschinenleistung gewählt (auf Grund des mittleren Betrages der Stromstärke), so bleibt natürlich für die Akkumulatoren die Differenz des maximalen Stromes und des mittleren Stromes (nicht der Maschinengrösse) bestehen. Zu bemerken ist hierbei, dass unter der erwähnten Maximalstromstärke diejenige zu verstehen ist, welche einige Zeit andauert, und zwar so lange, dass sich ihre Wirkung bereits anfängt auf die Dampfmaschine (Kraftmaschine) zu erstrecken, nicht aber überhaupt die allerhöchste, vielleicht nur momentan auftretende Stromstärke, deren Wirkung schon allein durch die Schwungmassen ausgeglichen wird.

Wählen wir die Batterie so, dass sie eine Stunde lang diesen Differenzstrom hergeben kann, so würde dies im allgemeinen die allerkleinste verwendbare Type sein. Man muss sogar danach trachten, festzustellen, ob im Bahnbetriebe nicht so geringe Stromstärken zeitweise vorkommen, dass die Ladestromstärke, die sich in diesem Momente in die Batterie ergiesst, den zulässigen Betrag übersteigt. In diesem Falle wäre die Batterie nach dem Ladestrom entsprechend grösser zu wählen.

Eine derartig für den normalen Strassenbahnbetrieb gewählte Batterie wird, wie oben erwähnt, weniger vollkommen wirken als die Batterien, über die als erstes Beispiel berichtet worden ist, man wird vielmehr, um eine ebenso vollkommene Gleichheit der Stromstärke und Spannung bei den Maschinen zu erzielen, noch grössere Batterien wählen müssen, die aber auch zugleich infolge der geringeren Beanspruchung haltbarer werden. Sehr zu empfehlen und als normal bemessen sind anzusehen Batterien von der doppelten Grösse, als oben angegeben.

Wenn nun gemäss vorstehendem vor der Wahl zu kleiner Pufferbatterien eindringlich gewarnt werden muss, so darf andererseits folgendes nicht übersehen werden:

Es ist vielfach als Grundbedingung ausgesprochen worden, dass die Maschinenstromstärke bei derartigen Anlagen nahezu konstant ausfallen muss und dass es demgemäss wünschenswert sei, dass die Dynamomaschine bei Belastung einen möglichst starken Spannungsabfall zeigt. Dies ist nicht ganz der Fall. Man wird zwar danach trachten, dass die Maschinen im wirklichen normalen Betriebe ungefähr normal, d. h. ökonomisch belastet sind, doch ist es naturgemäss nahezu gleichgültig, ob die Belastung der Dampfmaschine (an deren Verwendung wir hier hauptsächlich denken) genau konstant ist, oder sich in gewissen mässigen Grenzen ändert. Der Dampfverbrauch und noch mehr der Verbrauch an Heizmaterial wird in beiden Fällen praktisch nicht verschieden ausfallen.

Man soll daher nicht ängstlich danach trachten, die Maschinenbelastung vollkommen konstant zu erhalten, sondern im Gegenteil Dampfmaschinen von möglichst guter Regulierung und Dynamomaschinen von möglichst konstanter Spannung wählen, damit nicht aus Rücksicht auf die Spannung eine unannehmbar grosse Batterie erforderlich wird, damit vielmehr die Pufferbatterie geschont wird und möglichst klein bemessen werden kann.

Die über die mögliche Leistung der Maschine hinausgehende Beanspruchung wird in jedem Fall von der Batterie gedeckt, und das ist ja der Hauptzweck. Auch wird es niemand einfallen, für Bahnzwecke die normalen Maschinentypen gänzlich umzukonstruieren. Ein gutes Regulieren der Dampfmaschinen und Sicherheit gegen Durchgehen bei Leerlauf ist aber stets unbedingtes Erfordernis schon aus Rücksicht auf etwaige Betriebsstörungen, wie Durchbrennen von Bleisicherungen u. dergl.

Die Pufferbatterie kleiner zu bemessen, als der oben angeführten Bedingung (einstündige Entladestromstärke) entspricht, ist keineswegs ratsam, wählt man dieselbe aber grösser, so kann dies nur dem angestrebten Zwecke nützen, dass die Spannung konstanter ausfällt und die Platten mehr geschont werden.

Eindringlich muss jedoch vor der ganz verkehrten Auffassung gewarnt werden, als ob die Maschinen- und Akkumulatorenleistung beliebig gewählt werden kann, und als ob es nur Erfordernis wäre, dass die Summe von der gewählten Maschinen- und Akkumulatorenleistung dem Maximalstrom der Anlage gleichgewählt wird. Die Anwendung grösserer Maschinen, als erforderlich ist, entlastet nicht die

Batterie oder doch nur insofern, als die Spannung um ein geringes konstanter wird, denn die Maschinen arbeiten trotzdem nur etwa mit der mittleren Stromstärke.

Zu erwähnen wäre noch, dass bei den meisten Strassenbahnen die mittlere Stromstärke zu verschiedenen Tagesstunden verschieden gross ausfällt. Man kann auf diesen Umstand eventuell in der Weise Rücksicht nehmen, dass man bei dem Höchstbetrage der mittleren Stromstärke die Dampfmaschinen mit ihrer Maximalleistung beansprucht, wobei natürlich die Dynamomaschinen dauernd die entsprechende Stromstärke hergeben müssen, während bei dem im allgemeinen geringeren Betrage der mittleren Stromstärke die Dampfmaschinen dann normal, d. h. mit ökonomischer Füllung beansprucht werden, eventuell so, dass diese Beanspruchung etwas höher als die normale Dampfmaschinenleistung liegt, da die Dynamomaschine in diesem Falle nicht mit ihrer höchsten Oekonomie arbeitet. Wir werden prinzipiell etwa folgende drei Fälle zu unterscheiden haben:

1. Bahnanlagen mit für gewöhnlich gleichmässigem, zeitweise jedoch, z. B. an Sonn- und Feiertagen, gesteigertem Verkehr. In diesem Fall ist es angezeigt, die normale Dampfmaschinenleistung aus Rücksicht auf die mittlere Stromstärke an Wochentagen zu bemessen und die maximale Leistung der Dynamomaschine gleich der maximalen Dampfmaschinenleistung zu wählen.

2. Bahnanlagen mit dauernd ungefähr gleichbleibendem Betrieb ohne wesentliche Mehrbeanspruchung an Sonntagen. In diesem Fall ist die normale Dampfmaschinenleistung gleich der an Wochen- und Sonntagen gleichen mittleren Beanspruchung zu wählen und die Dynamomaschine so zu bemessen, dass ihre Maximalleistung etwa mit 0,85 multipliziert der Normalleistung der Dampfmaschine entspricht.

3. Bahnanlagen ohne Pufferbatterie. Bei diesen, welche hier nur des Zusammenhanges wegen mit erwähnt werden sollen, ist als Bedingung einzuhalten, dass die Maximalleistung sicher ausreichen muss, um die Stromstösse ohne schädliche Ueberlastung aufzunehmen. Dies wird etwa erreicht, indem man die Dynamomaschine so wählt, dass ihre mittlere Beanspruchung nicht mehr als ihre Maximalleistung $\times$ 0,6 ausmacht. Hierbei ist vorausgesetzt, dass die maximale Beanspruchung nicht mehr als das Doppelte des Mittels beträgt. Ist das Maximum jedoch das Dreifache, so ist die mittlere Beanspruchung gleich der Maximalleistung der Dynamo $\times$ 0,4 zu setzen, und es ist für dazwischenliegende Beanspruchungsverhältnisse ein Wert zwischen 0,6 und 0,4 zu wählen.

Im Gegensatz zu den oben erörterten normalen Strassenbahnen

wird bei besonders gearteten Fällen die Wahl kleinerer Batterien und demgemäss stärkere Beanspruchung derselben zulässig sein.

Man denke sich beispielsweise eine elektrische Eisenbahn, auf welcher nur alle 1—2 Stunden ein Zug verkehrt, welche aber entsprechend den Anforderungen des Betriebes dauernd mit Strom versorgt sein muss (z. B. zum Rangieren etc.).

Es ist sehr wünschenswert, eine solche Bahn mit einer Pufferbatterie auszurüsten, da der dauernde Betrieb einer genügend grossen Dampfmaschine, um den schwersten Eisenbahnzug auf der stärksten Steigung durchzuziehen, sehr unökonomisch ausfallen muss. Die Verwendung der Pufferbatterie wird gestatten, in diesem Falle eine viel kleinere Dampfmaschine zu wählen.

Es wird nun bei dieser Bahn, besonders wenn sie den Charakter einer untergeordneten Eisenbahn hat, nicht so wesentlich auf die Spannungsverhältnisse ankommen, als vielmehr darauf, dass dieselbe genügend billig betrieben werden kann. Man wird daher die Batterie so klein wie möglich wählen; dies um so mehr, als das Strommaximum vielleicht nur in Zwischenräumen von etlichen Stunden sich wiederholt, wenn ein besonders schwerer Zug die stärkste Steigung durchfährt, und wir annehmen wollen, dass diese Steigung ziemlich kurz ist. Es wird in diesem Falle vielleicht sogar zulässig sein, die Batterien mit einer etwas grösseren Stromstärke zu beanspruchen, als der einstündigen Entladung entspricht. Hierbei wird eine möglichst konstante Maschinenspannung wiederum von Nutzen sein.

Nachdem im vorstehenden die Eigenschaften der Pufferbatterien und die Bestimmung derselben nur ganz im allgemeinen gekennzeichnet sind, erscheint es noch von Interesse, auf die Ladung der Batterien näher einzugehen.

Wir haben bisher die Annahme gemacht, dass die Batterie ihre eigentliche Pufferwirkung ausübt und demgemäss fortwährend abwechselnd geladen und entladen wird.

Es ist nun ersichtlich, dass leicht der Fall eintreten kann, der auch in Wirklichkeit nicht immer zu vermeiden ist, dass der Ladezustand der Batterie während des Betriebes abnimmt, d. h. dass die Batterie zum Teil entladen ist, wenn der Maschinenbetrieb aufhört.

Ausserdem wird aber auch eventuell absichtlich eine derartige Entladung der Batterie vorgenommen werden, indem man z. B. zu Zeiten geringen Bahnbetriebes die Dynamomaschine nicht laufen lässt, sondern den Strom für die wenigen fahrenden Wagen der Batterie entnimmt. Diese Anordnung der Batterie kommt hauptsächlich frühmorgens und eventuell spätabends in Frage, zu den Zeiten, solange die

ersten Wagen behufs Beginnes des normalen Fahrplanes aüs dem Wagendepot ausrücken oder nach Beendigung des Fahrplanes in das Wagendepot zurückkehren.

Es ist also klar, dass die Möglichkeit einer normalen und vollkommenen Ladung der Pufferbatterien gegeben sein muss.

Ziehen wir die gebräuchlichsten Lademethoden in Betracht und vergleichen die hier vorliegenden speziellen Bedingungen, so ergibt sich folgendes:

Direkte Ladung der Batterie unter Verwendung von Dynamomaschinen, deren Spannung sich auf den höchsten Betrag steigern lässt, erscheint wenig zweckmässig, da derartige Maschinen bei der normalen Spannung wenig Konstanz besitzen und ausserdem reichlich bemessene Modelle erfordern. Zudem ist die Steigerung der Spannung vom mittleren Betrage von ca. 2 Volt bis zur Ueberladespannung von etwa 2,7 Volt und das dann damit verbundene Auftreten ziemlich bedeutender Gesamtspannung nicht erwünscht. Es kommen demgemäss hauptsächlich diejenigen Methoden in Betracht, welche auf Verwendung von Zusatzmaschinen oder auf Ladung von Teilserien beruhen.

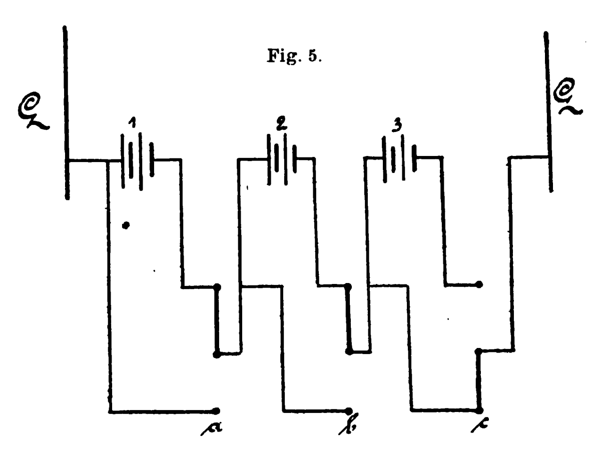


Fig. 5.

Von den letztgenannten Methoden sind wieder diejenigen, welche Zusatzmaschinen erfordern, weniger einfach als folgende Anordnung (Fig. 5).

Die Batterie wird in eine Anzahl Teilserien unterteilt, und zwar praktisch etwa 3 oder 4. Eine der Anzahl der Teilserien entsprechende Anzahl von Umschaltern ermöglicht, dass man immer je eine der Serien ausschalten und den Rest der Batterie in Hintereinanderschaltung an die Sammelschienen legen kann.

Hat man beispielsweise 3 Serien gebildet, so wird man immer je 2 in Hintereinanderschaltung laden. Es ist hierbei natürlich erforderlich, dass die Maschinenspannung in dieser Zeit der Ladung entsprechend reduziert wird. Es ist jedoch gleichzeitig erörtert worden, dass die Ladeperiode im allgemeinen nicht lange dauert, und demgemäss

ist diese Herabminderung der Betriebsspannung nicht wesentlich unbequem.

Es muss betont werden, dass man zweckmässig die Zellenzahl so wählt, dass die Batterie in normalem Betrieb nahezu ihre normale Ladung behält.

Dies wird erreicht, indem man pro Zelle eine Spannung von 2,07 bis 2,1 Volt rechnet.

Beispielsweise würde also eine Zahl von 264 Zellen und eine Spannung von 550 Volt zusammengehören. Hierdurch wird bewirkt, dass die Batterie mit Leichtigkeit vor unbequemer Entladung bewahrt wird.

Ferner ist zu bedenken, dass eine vollständige Durchladung der Batterie keineswegs alle Tage erforderlich ist. Vielmehr wird es im allgemeinen genügen, besonders bei Wahl der richtigen Zellenzahl, dass die Batterie etwa alle 14 Tage überladen wird, im allgemeinen jedoch die Ladung nur bis etwa 2,4 Volt getrieben wird, wobei es dann wieder darauf ankommt, ob die Lieferantin der Akkumulatoren diese normale Vollladung täglich oder seltener beansprucht. Wesentliche Unbequemlichkeiten bringt diese normale Vollladung aber nicht mit sich, da sie in einigen Minuten erledigt ist, und das ganze Ladeverfahren bei der Serieneinteilung lediglich darin besteht, in bestimmten kurzbemessenen Zeitabschnitten je einen Hebel umzuschlagen.

Eine gemäss den vorstehenden Erörterungen ausgeführte und bediente Anlage wird einen hervorragenden Grad von Einfachheit besitzen, da die Maschinen fast immer gleichmässig belastet laufen, und die Ladung sich nebenbei in einfacher Weise abspielt.

Es soll erwähnt werden, dass eine zweckmässige Unterstützung des Schaltbrettwärters darin besteht, in die Batterie einen Wattstundenzähler einzufügen, welcher vorwärts und rückwärts geht, und welcher sich im Betriebe ganz langsam im Sinne der Ladungsrichtung des Stromes fortdrehen soll. Zu dem Zwecke eignen sich z. B. die gewöhnlichen Wattstundenzähler System „Thomson“, eventuell unter Fortlassung der Zusatzspannungsspule.

Als wesentliches Merkmal für den Ladungszustand der Batterie kann ausserdem, wie bekannt, die Säuredichte benutzt werden.

Einfluss von Akkumulatoren in den Fahrzeugen.

Eine ähnliche Wirkung wie diejenigen Akkumulatorenbatterien, welche in der Zentrale aufgestellt werden, üben solche Batterien aus, welche, in den Wagen untergebracht, zum automobilen Betriebe der

für Oberleitungsbetrieb eingerichteten Strassenbahnwagen auf einzelnen Strecken dienen, und zwar so oft diese Akkumulatoren an das Leitungssystem behufs Ladung angeschaltet werden.

Eine Beurteilung dieser Wirkung ist etwa in der Weise möglich, dass man für diejenigen Batterien, welche gleichzeitig an der Leitung sind, die Stromstärke ermittelt, welche sie aufnehmen könnten, wenn sie für einstündige Ladung und Entladung ausgenutzt würden.

Es ist nämlich zu bedenken, dass die als Traktionsbatterien in den Wagen gebräuchlichen Batterien derartig stark beansprucht werden, dass diese Stromstärken nicht direkt als Massstab dienen können.

Beispielsweise besitzen die Batterien für 500 Volt Oberleitungsspannung ca. 200 Elemente mit je einer positiven Platte, welche mit Stromstärken von 5—10, ja 15 Ampère pro Quadratdecimeter beansprucht werden — ein im Vergleich viel höherer Betrag als bei stationären Batterien, welche Werte von etwa 1—2 Ampère pro Quadratdecimeter aufweisen.

Nur derjenige Betrag an Ladestromstärke, welcher der Reduktion auf einstündigen Betrieb entspricht, wird bei derartigen Strassenbahnen mit sogen. gemischtem Betrieb eine eigentliche Pufferwirkung ausüben können. Dies ist beispielsweise der dritte Teil.

Hieraus geht hervor, dass im allgemeinen das Vorhandensein von automobilen Akkumulatorenwagen der Hinzufügung einer Pufferbatterie nicht gleich zu erachten ist, vielmehr die Maschinenstation noch einen Teil der Stromstösse des Bahnnetzes aufnehmen muss.

Handelt es sich um die Berechnung der für eine solche Bahn zu liefernden Energie, so ist nicht ausser acht zu lassen, dass die Akkumulatoren gewisse Verluste an Wattstunden bedingen, und demgemäss der Wirkungsgrad der Akkumulatoren in die Rechnung einzuführen ist. Derselbe dürfte keinenfalls höher als 0,7 einzusetzen sein, es wird sich vielmehr empfehlen, etwa 0,6 zu rechnen.

Einen noch wesentlich anderen Einfluss auf die Stromlieferung der Zentralen hat die Verwendung von Wagen für reinen automobilen Betrieb. Die Stromstösse, welche beim gemischten Betriebe (Oberleitung und Akkumulatoren) durch die direkt stromentnehmenden Wagen verursacht werden, entfallen hier vollständig, und es treten Aenderungen der Stromstärke lediglich dadurch auf, dass die Ladestromstärke bei konstanter Spannung sich allmählich ändert, indem bei der Einschaltung zunächst eine grosse Stromstärke entsteht, die allmählich abnimmt.

Man hat in dieser Beziehung prinzipiell zwischen zwei verschiedenen Ausführungsweisen zu unterscheiden.

Es ist wiederholt der Versuch gemacht worden, automobile Wagen

für Tagesleistung auszuführen. In diesem Falle erfolgt die Ladung einmal täglich, und man hat die Möglichkeit, die Ladestromstärke beliebig zu regulieren, indem man die Spannung verändert.

Der Wunsch, die Wagenbatterien für derartig grosse Kapazitäten zu konstruieren, dürfte wohl nicht ganz berechtigt sein, wenn man bedenkt, wie schwierig es ist, demselben zu entsprechen, und wie leicht man die Schwierigkeiten umgehen kann durch Wahl des sogen. Nachladebetriebes.

Das Nachladesystem besteht darin, dass die Akkumulatorenwagen jedesmal, wenn sie an ihren Ausgangspunkt zurückkehren, während des Aufenthaltes an demselben wieder etwas geladen werden. Dies geschieht gewöhnlich in der Weise, dass die Wagen sich selbstthätig die erforderliche Verbindung mit der Leitung herstellen, und dass diese mit ungefähr konstanter Spannung gespeist wird.

Es tritt nun hierbei naturgemäss die Wirkung ein, dass, wenn zu den in Ladung befindlichen Wagen ein weiterer hinzutritt, die Leistung, welche die Maschinenstation liefert, sich nicht wesentlich ändert, indem bei Hinzuschaltung eines weiteren Wagens die Spannung etwas abfällt und gleichzeitig die Ladestromstärke in dem bereits in Ladung befindlichen Wagen abnimmt. Darin liegt eine gewisse Selbstregulierung dieses Systems, welche eine besonders gute Ausnutzung der Maschinen gestattet, die noch dadurch begünstigt wird, dass die Vollladung nach Beendigung des Betriebes mit einer regulierbaren Stromstärke vorgenommen wird.

Bestimmung der Maschinen- und Akkumulatorengrösse nach der Stärke der Motoren und der mittleren Steigung.

Im Gegensatz zu den weiter oben besprochenen Methoden, die dazu dienen, die Grösse der Maschinenstation zu berechnen, soll im folgenden ein neues Verfahren erörtert werden, welches sich auf die Thatsache stützt, dass die Wahl der Motorengrösse von weit höherem Einflusse auf den Verbrauch an Strom ist, als der spezifische Charakter der Bahn selbst, d. h. deren Steigungen und Schienenverhältnisse. Wir hatten bereits Gelegenheit gehabt, darauf hinzuweisen, dass der an früherer Stelle erwähnte Verbrauch an Wattstunden pro Wagenkilometer sehr wesentlich von der Wahl der Motoren abhängt, derartig, dass die aufgewendete Anzahl Wattstunden pro Wagenkilometer sich nicht sehr erheblich ändert, wenn der mit bestimmten Motoren ausgerüstete Wagen das eine Mal auf einer Strecke mit vorwiegend horizontalem, das andere Mal mit einigermassen bergigem Charakter läuft.

Es ist durchaus gerechtfertigt, dieser auf den ersten Blick etwas auffallenden Thatsache die erforderliche Beachtung zu schenken und demgemäss auch bei der Berechnung der Gesamtleistung, wie sie für die Kraftstation massgebend ist, diesen Umstand nicht aus dem Auge zu lassen.

Wir wollen daher versuchen, die Zahlen, welche sich aus der Erfahrung ergeben, d. h. die Werte des Wattstundenverbrauchs pro Wagenkilometer, so zu verwerten, dass wir unter der Voraussetzung, die Wahl der Motorengrösse ist erfolgt, in möglichst einfacher Weise für Strassenbahnen von verschiedenem Charakter die Maschinenleistung ermitteln können.

Es kann nicht behauptet werden, dass man im stande wäre, die erforderlichen Wattstunden für die verschiedenen Motorentypen erfahrungsgemäss mit genügender Genauigkeit und ganz besonders mit allgemeiner Gültigkeit anzugeben, doch kann uns dies nicht abhalten, die Zahlen, soweit sie vorliegen, nach Möglichkeit zu verwenden und danach zu trachten, die, wie sich im folgenden zeigen wird, sehr bequeme Methode zur Anwendung zu bringen.

Die Leistung der Motoren bei Strassenbahnwagen oder Bahnen überhaupt wird sehr verschieden angegeben und beurteilt, was hauptsächlich darin seinen Grund hat, dass es ausserordentlich schwierig ist, die Normalleistung eines Bahnmotors anzugeben, weil die Leistung eben im wirklichen Betrieb fortwährend wechselt. Dann aber ist es auch nicht ganz leicht, die Maximalleistung der Motors zu präzisieren, weil die Dauer dieser Leistung, d. h. die Dauer ihrer Zulässigkeit einen wesentlichen Faktor für die Beurteilung bildet.

Trotz dieser Schwierigkeit können wir erklären, dass hauptsächlich zwei Motorgattungen vorteilhaft allgemein Verwendung finden können, deren Leistungen wie folgt ermittelt werden können.

Die kleine Gattung Motoren kann normal, d. h. dauernd 10 PS hergeben, maximal jedoch auf 20 PS beansprucht werden. Die grosse Gattung hat normal 15 PS und kann bis auf 35 PS beansprucht werden.

Diese Zahlen sind so zu verstehen, dass wir Motoren annehmen, welche bei 500 Volt Spannung dem Wagen Geschwindigkeiten erteilen, die in den behördlicherseits konzessionierten Grenzen liegen, derartig, dass eine Geschwindigkeit von etwa 25 km pro Stunde als maximaler Wert zu betrachten ist. Diese Geschwindigkeit wird jedoch nur auf horizontaler Strecke erzielt, während beim Durchfahren der stärksten Steigungen, welche die Bahn aufweist, die Geschwindigkeiten auf 10—12 km pro Stunde heruntergehen, entsprechend dem Charakter

der normalen Strecken, um die es sich bei unserer Berechnung handelt.

Ziehen wir diese beiden genannten Motorsorten in Betracht, so kommt noch weiter in Frage, wie viele Motoren zur Ausrüstung des Wagens verwendet werden. Die Zahl und Leistung ist auf das Ergebnis für den Stromverbrauch von erheblichem Einfluss.

Nun ist es wieder leicht ersichtlich, dass in Bezug auf die Verwendungsfähigkeit oder Leistungsfähigkeit ein Wagen mit zwei kleinen Motoren einem solchen mit einem grossen Motor ziemlich gleichwertig ist, und es wird mehr als eine Frage der Oekonomie zu betrachten sein, ob man bei denselben gegebenen Streckenverhältnissen den Motorwagen mit zwei Motoren à 10—20 PS oder mit einem Motor von 15—30 PS ausrüsten soll. Ein Wagen dagegen mit zwei Motoren à 15—30 PS wird eine erheblich grössere Leistungsfähigkeit besitzen, als die beiden ebengenannten Wagentypen, und demgemäss wird diese Wagensorte hauptsächlich da in Frage kommen, wo Strecken mit starken Steigungen und mit Anhängewagen zu durchfahren sind. Wir bemerken noch, dass eine Wagentype der üblichen Motorwagen mit ca. 18 Sitz- und ebensoviel Stehplätzen in zweiachsiger Ausführung gedacht ist.

Die Fig. 6 bringt den Versuch zum Ausdruck, den verschiedenartigen Wattstundenverbrauch, welcher den geschilderten Wagen entspricht, graphisch darzustellen.

Abhängig ist der Verbrauch ausser von der Grösse der Motoren von der Grösse der zu durchfahrenden Steigung, und zwar ist vorausgesetzt, dass mit genügender Genauigkeit die mittlere Steigung als Massstab dienen kann, wobei als mittlere Steigung wieder diejenige verstanden ist, welche dadurch erhalten wird, dass man alle Höhendifferenzen summiert und durch die Länge der Strecke dividiert.

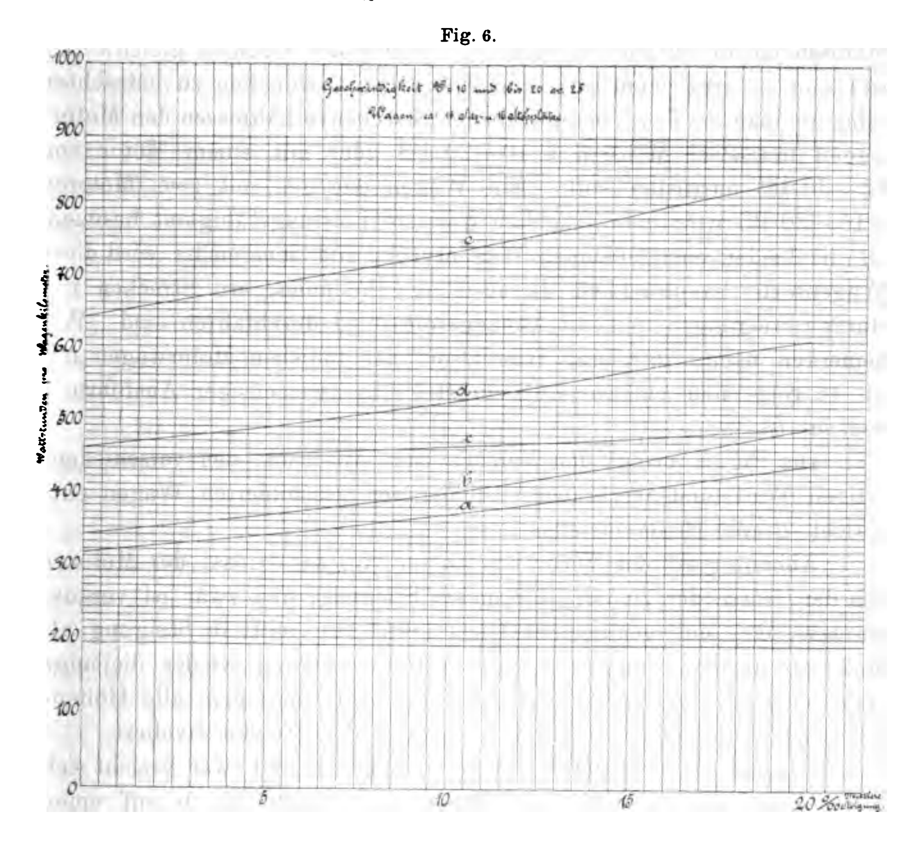
Es sind in der Tafel fünf Kurven gegeben und zwar bezieht sich Kurve a auf Wagen mit einem Motor von 10—20 PS, b auf einen solchen mit zwei Motoren gleicher Grösse. Kurve c dagegen gilt für Wagen mit einem Motor von 15—35 PS und Kurve d für einen Wagen mit zwei der letztgenannten Motoren. Kurve e endlich ist für eine grössere Type von Motoren entworfen, welche normal 20 und maximal etwa 50 PS leisten kann. Es ist angenommen, dass bei Verwendung von zwei Motoren die Schaltung so getroffen wird, dass man mit Hintereinanderschaltung der Motoren anfährt und dann auf Parallelschaltung übergeht, wenn der Wagen schneller fahren soll.

Enthält der Wagen nur einen Motor, wie bei Kurve c, so ist eine einfache Widerstandsregulierung vorausgesetzt, ferner ist bei allen

Motoren angenommen, dass eine Einrichtung zur Schwächung des Magnetfeldes durch parallelgeschaltete Widerstände vorgesehen wird.

Die grössere Oekonomie solcher Wagen, welche mit zwei Motoren in der angegebenen Weise arbeiten, drückt sich in den Wattstunden in der Weise aus, wie der Unterschied zwischen c und b erkennen lässt. Besonders bei horizontalen Strecken wird der Unterschied wesentlich, da in diesem Falle die Wagen mit einem Motor vielfach mit Vorschalt-

Fig. 6.



widerstand fahren, um die seitens der Behörden vorgeschriebene maximale Geschwindigkeit nicht zu überschreiten.

Wir wollen nun untersuchen, in welcher Weise wir die in der Kurventafel gegebenen Werte verwenden können, um die Gesamtstromstärke bezw. Leistung zu berechnen.

Wir haben zunächst einen Umstand hierbei zu berücksichtigen:

Wie bereits früher gezeigt, ist die auf der Strecke verkehrende Anzahl Wagen von wesentlichem Einfluss auf die Maximalstromstärke. Insofern wir daher von der Maximalleistung der Kraftstation zu

sprechen haben, ist deren Abhängigkeit von der Wagenzahl zu berücksichtigen.

Da wir uns nun bei der gegebenen Grundlage — dem Verbrauche an Wattstunden pro Wagenkilometer — zunächst mit den mittleren Stromstärken zu befassen haben, so werden wir für unsere Rechnung eine Angabe über das Verhältnis der maximalen Stromstärke zur mittleren, in Abhängigkeit von der Wagenzahl, brauchen, hierbei jedoch nicht von der Grösse der mittleren Steigung abstrahieren können, denn wir müssen konstatieren, dass bei grösserer mittlerer Steigung das Verhältnis der maximalen zur mittleren Stromstärke ungünstiger, d. h. grösser wird.

In Tafel I ist der Versuch gemacht, dieses Verhältnis der maximalen zur mittleren Stromstärke darzustellen; und zwar sind zwei Kurven gegeben, von denen die Kurve I für die horizontale Strecke $s_m = 0$, die Kurve II dagegen für eine mittlere Steigung von 15 ‰ $s_m = 15$ gilt. Als maximale Stromstärke ist hierbei diejenige betrachtet, welche eine einigermassen messbare Zeit, d. h. etwa einige Sekunden anhält, während plötzliche Ueberschreitungen dieser vorhandenen Stromstärke nicht berücksichtigt worden sind, so dass etwa ein von einem registrierenden Strommesser aufgezeichnetes Diagramm zahlreiche Stromwerte aufweist, welche das in Betracht kommende Maximum momentan überschreiten.

Um mit Hilfe der Fig. 6 zu den mittleren Stromstärken und von diesen mit Hilfe von Tafel I zu den maximalen Stromstärken zu gelangen, alles in Abhängigkeit von der Wagenzahl, haben wir folgende Betrachtung anzustellen:

Die mittlere Wattleistung ist:

$$L_m = V \cdot W_z.$$

Nehmen wir die mittlere Geschwindigkeit

$$V = 10$$

an und setzen voraus, dass die Spannung am Wagen 500 Volt beträgt, so ist die mittlere Stromstärke

$$\frac{10\ W_z}{500} = \frac{2\ W_z}{100}.$$

Es ergibt sich demnach pro Wagen für verschiedene Grössen des Wattstundenbetrages pro Wagenkilometer beispielsweise folgende mittlere Stromstärke:

W_z	325	350	400	450	500	600	620	650	680
J_m	6,5	7	8	9	10	12	12,4	13	17

Wir wollen zunächst Wagen behandeln, welche zwei Motoren à 15—30 PS besitzen:

Bei der mittleren Steigung

$$s_m = 0$$

ergibt Tafel I für einen solchen Wagen 470 Wattstunden, demgemäss ist die mittlere Stromstärke

$$\frac{470 \cdot 2}{100} = 9{,}4 \text{ Ampère.}$$

In gleicher Weise erkennen wir aus Fig. 6, dass bei 15 ‰ mittlerer Steigung der Wert für diesen Wagen 575 Wattstunden beträgt und demgemäss die mittlere Stromstärke pro Wagen:

$$\frac{575 \cdot 2}{100} = 11{,}5 \text{ Ampère.}$$

Berechnen wir unter Zugrundelegung dieser Stromstärken und der aus den Kurven I und II gegebenen Verhältnisse die maximale Stromstärke für verschiedene Wagenzahlen und zwar das eine Mal für $s_m = 15$ und das andere Mal für $s_m = 0$, so erhält man eine Reihe von Werten, welche in Tafel I eingetragen sind, und welche die Kurve A und B liefern.

Verfahren wir in gleicher Weise mit der Kurve b in Fig. 6, so erhalten wir für diesen Wagen mit zwei Motoren à 10—20 PS pro Wagenkilometer bei der Steigung 0 350 Wattstunden oder 7 Ampère und bei der Steigung von im Mittel 15 ‰ 445 Wattstunden oder 8,9 Ampère als mittlere Stromstärke für den Wagen. In Verbindung mit den Kurven I und II ergibt sich für die mittlere Stromstärke in dem einen Falle die Kurve C, im anderen die Kurve D Tafel I.

Die Betrachtung der Kurven A, B, C und D in Tafel I lässt uns erkennen, dass die erhaltenen Zahlenwerte bezw. die Kurven in hohem Grade angenähert werden können durch gerade Linien, welche strahlenförmig auseinandergehen, und welche in ihrem Verlaufe die überraschende Eigentümlichkeit ergeben, dass sie die Abscissenachse ausserhalb des 0-Punktes, etwa an der Stelle schneiden, welche einer Wagenzahl von — 4,4 entspricht.

Aus diesem Verhalten ergibt sich ohne weiteres, dass die in Tafel I konstruierten Kurven bezw. geraden Linien in sehr einfacher Weise analytisch ausgedrückt werden können, denn es sind Strahlenbündel, welche nach einem und demselben Punkte gehen.

Wir können nun folgende weitere Betrachtungen anstellen:

Die Kurven oder geraden Linien A und B geben die Daten für dieselbe Wagentype und mittlere Steigung 0 resp. 15. Die dazu-

gehörigen Kurven für dazwischenliegende mittlere Steigungen werden demgemäss zwischen A und B fallen. Wenn wir in der Lage sind, das Gesetz festzustellen, das den Abstand dieser Kurven von A und B angibt, so werden wir in sehr bequemer Weise für sämtliche Steigungsverhältnisse die Werte ohne weiteres hinzeichnen können.

Die Aufstellung dieses Gesetzes wird uns dadurch ermöglicht, dass wir ohne grössere Vernachlässigung annehmen können, wir hätten es in Fig. 6 nicht mit Kurven, sondern mit geraden Linien zu thun, mit anderen Worten, dass die Wattstunden pro Wagenkilometer proportional mit der mittleren Steigung zunehmen.

Wir können demgemäss folgende Gleichungen ansetzen:

$$J_{max} = a + b\,(A + 4{,}4),$$

wobei $a = 0$, so dass

$$J_{max} = b\,(A + 4{,}4) \qquad 25)$$

verbleibt.

Gemäss der letzthin gemachten vereinfachenden Annahme, dass die Wattstunden W_z proportional s_m seien, kann in der Folge ausgedrückt werden $W_z = \alpha + \beta\,.\,s_m$.

b ist aber proportional W_z, demgemäss kann b ausgedrückt werden in der Form

$$b = \gamma\,(\alpha + \beta\,.\,s_m) + \delta.$$

Um jede beliebige Stromstärke analytisch berechnen zu können, d. h. also die maximale Stromstärke für beliebige Wagenzahlen, müssen wir den Wert von b ermitteln. Wir bedienen uns dazu der Linien A und B nach Tafel I und setzen in der letzten aufgestellten Formel

$$J_{max} = b\,(A + 4{,}4)$$

beispielsweise $A = 30$ Wagen.

Die Tafel ergibt hierzu

$$J_{max} = 564 = b\,(30 + 4{,}4)$$

oder $b = 16{,}4$, alles gemäss Kurve B für eine mittlere Steigung $s_m = 15$.

In gleicher Weise erhalten wir für 30 Wagen und $s_m = 0$

$$J_{max} = 402 = b\,.\,34{,}4 \text{ und}$$

$b = 11{,}7$.

Die beiden erhaltenen Werte für b können wir nun in die früher entwickelte Formel

$$b = \gamma\,(\alpha + \beta\,.\,s_m) + \delta$$

einsetzen, um so die Gleichungen zur weiteren Berechnung zu erhalten.

Verfahren wir demgemäss und setzen den Wert von b für $s_m = 15$ mit 16,4 ein und bei $s_m = 0$ mit 11,7, so ergibt die Rechnung

$$\gamma = 0{,}0448.$$

Es ist

$$W_z = \alpha + \beta \cdot s_m$$

zu setzen, wobei $\alpha = 470$ ist und β sich $= 7$ ergibt. Wir erhalten damit durch weiteres Einsetzen den Wert $\delta = -9{,}4$ und somit $b = 11{,}7 + 0{,}314\, s_m$. Dieselbe Formel hätten wir in noch etwas direkterer Weise erhalten können, wenn wir die Gleichung für die gerade Linie, welche den Verlauf von b charakterisiert, unmittelbar angesetzt hätten.

Mit Hilfe des gefundenen Wertes von b können wir die maximale Stromstärke formelmässig ausdrücken.

Wir hatten früher bereits konstatiert, dass $J_{max} = b\,(A + 4{,}4)$ ist; es ergibt sich also durch Einsetzen des gefundenen Wertes

$$J_{max} = (11{,}7 + 0{,}314\, s_m) \cdot (A + 4{,}4) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 26)$$

Diese Gleichung gilt, wie oben gesagt, für einen Wagen von zwei Motoren à 15—30 PS und für die mittlere Geschwindigkeit von 10 km pro Stunde bei 500 Volt. Unter den gleichen Voraussetzungen ist die mittlere Stromstärke

$$s_m = \frac{2 \cdot W_z}{100} \cdot A.$$

Da nun

$$W_z = 470 + 7\, s_m$$

ist, so ergibt sich

$$J_m = 2 \cdot \frac{(470 + 7\, s_m) \cdot A}{100} = (9{,}4 + 0{,}14\, s_m) \cdot A \quad . \quad . \quad 27)$$

als mittlere Stromstärke und die für eine Pufferbatterie massgebende Differenz

$$J_{max} - J_m = (11{,}7 + 0{,}314\, s_m) \cdot (A + 4{,}4) - (9{,}4 + 0{,}14\, s_m) \cdot A. \quad 28)$$

Nachdem wir so die Stromstärke des betrachteten Wagens ausgerechnet haben, sind wir in der Lage, die erhaltenen Werte graphisch aufzutragen, was in Tafel II geschehen ist. In derselben entspricht das obere Strahlenbündel der maximalen Stromstärke bei den mittleren Steigungen 0—20 pro Mille, das untere der mittleren Stromstärke ebenfalls für mittlere Steigungen 0—20 ‰.

Die Differenz zusammengehöriger Strahlen aus dem unteren und oberen Bündel ist diejenige Stromstärke, welche für eine Pufferbatterie in Frage kommt. Diese Werte sind unterhalb durch drei gerade Linien gegeben, welche wir hierbei für die mittleren Steigungen 0 bezw.

10 und 20 ‰ erhalten. Es sind hierunter, wie wir nochmals wiederholen, diejenigen Pufferbatteriestromstärken zu verstehen, welche einigermassen andauernd auftreten, während die plötzlichen Stromspitzen der Diagramme noch darüber hinausgehen.

Wir greifen in gleicher Weise zurück auf die Kurven bezw. die geraden Linien C und D der Tafel I, welche für einen Wagen Gültigkeit besitzen, der mit zwei Motoren à 10—20 PS ausgerüstet ist. Verfahren wir hierbei in gleicher Weise, so erhalten wir das Kurvensystem resp. die Strahlenbündel der Tafel III, ganz analog denjenigen der Tafel II. In derselben sind etwas weniger Strahlen ausgezogen, nämlich nicht wie in Tafel II von 2 zu 2 ‰, sondern in Abständen von 5 ‰.

Für diese letztgenannten Wagen sind für $s_m = 0$ nach Fig. 6 350 Wattstunden und $s_m = 15$ 445 Wattstunden einzusetzen und Stromstärken von 7 bezw. 8,9 Ampère bei 500 Volt und 10 km pro Stunde.

Durch eine gleichartige Behandlung der Abhängigkeitsverhältnisse wie in dem früher behandelten Falle ergibt sich die Gleichung $b = 8{,}8 + 0{,}26\, s_m$ und demgemäss wird die maximale Stromstärke

$$J_{max} = (8{,}8 + 0{,}26\, s_m) \,.\, (A + 4{,}4). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 29)$$

Ferner ist wieder

$$J_m = \frac{2\, W_z}{100} \,.\, A.$$

Da hier

$$W_z = 350 + 6{,}33\, s_m$$

ist, so wird

$$J_m = (7 + 0{,}127\, s_m) \,.\, A \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 30)$$

und die Differenz der maximalen gegen die mittlere Stromstärke, welche für Pufferbatterien massgebend ist,

$$J_{max} - J_m = (8{,}8 + 0{,}26\, s_m) \,.\, (A + 4{,}4) - (7 + 0{,}127\, s_m) \,.\, A. \quad 31)$$

Wird der Wagen nicht mit zwei Motoren ausgerüstet, sondern nur mit einem und zwar einem solchen von 15—35 PS, so können wir in ganz analoger Weise mit Hilfe der Kurve c der Fig. 6 die graphische Darstellung der Tafel IV erhalten. Wir begegnen bei der Tafel IV insofern einem Unterschied gegenüber den bisher besprochenen Fällen, dass die Stromstärken sich mit dem Grade der Steigung weniger stark ändern. Dies hat in der Hauptsache darin seinen Grund, dass auch bei geringeren Steigungen, wenn nur ein Motor verwendet wird, der Verbrauchsstrom ziemlich hoch ausfällt, weil im allgemeinen un-

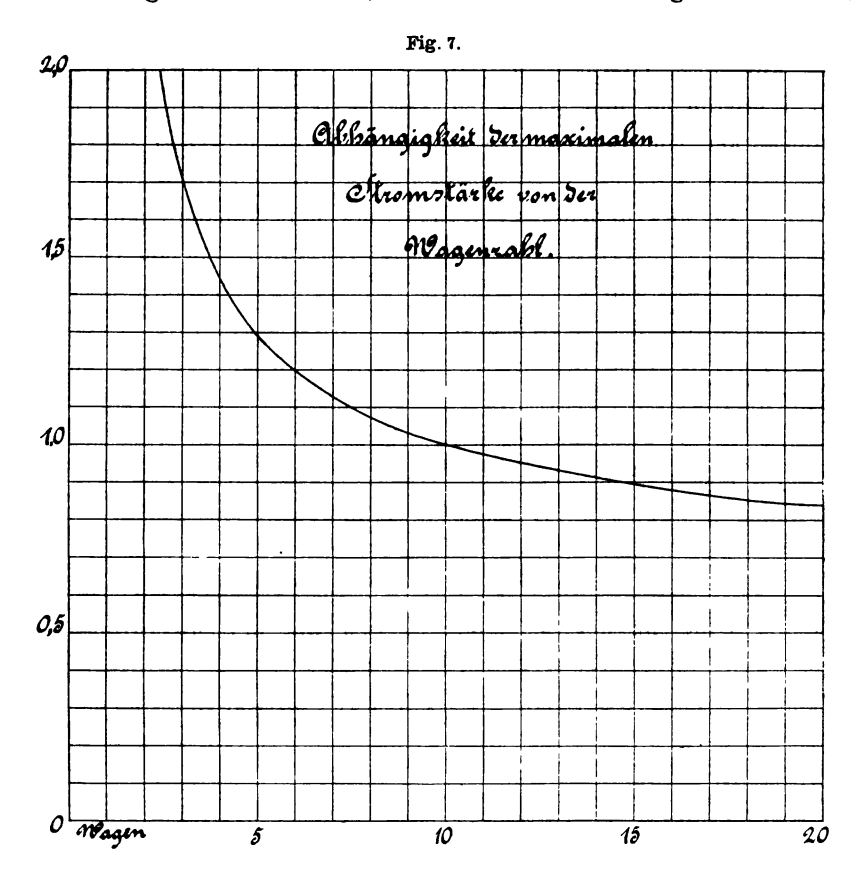
ökonomischer gefahren wird, infolge der vielfachen Verwendung von vorgeschalteten Widerständen.

Die Anwendung nur eines Motors ist demgemäss nur da zu empfehlen, wo die Stromkosten nicht wesentlich ins Gewicht fallen.

Bestimmung der Maschinengrösse nach einer Tabelle.

Nachdem wir nun für gewisse Haupttypen von Wagen in den Stand gesetzt sind, den Stromverbrauch für Bahnen mit einer beliebigen Anzahl Wagen zu bestimmen, sei es durch Benutzung der Formeln,

Fig. 7.



sei es unter direkter Verwendung der Werte der graphischen Tafeln, erscheint noch folgende, etwas abweichende Methode einer Erörterung wert.

Wir hatten in der vorstehenden Besprechung als Ausgangspunkt die Kurvendarstellung der Tafel I benutzt, welche das Verhältnis der

maximalen zur mittleren Stromstärke für verschiedene Wagenzahlen und verschiedene mittlere Steigungen in Kurve I und II angibt.

Wir können nun eine andere Kurve konstruieren, welche eine Abhängigkeit der maximalen Stromstärke von der Wagenzahl angibt in der Weise, dass das Verhältnis für eine bestimmte Wagenzahl = 1 gesetzt wird.

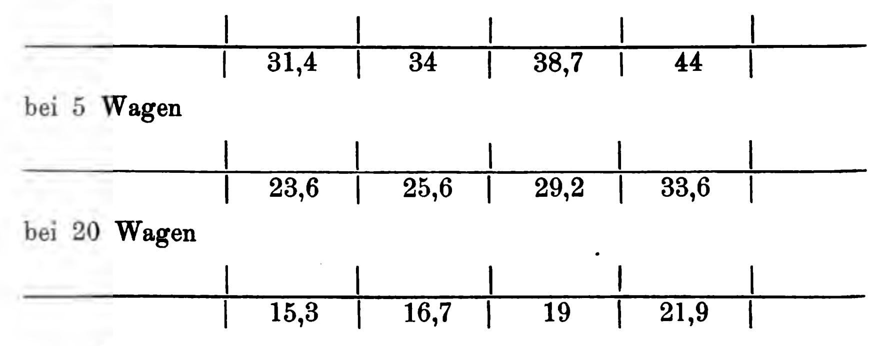
Nehmen wir diese ebengenannte Wagenzahl = 10 an, so erhalten wir die Kurve Fig. 7, welche für verschiedene Wagenzahlen bei gleicher mittlerer Steigung gilt.

Wir entnehmen zur weiteren Ermittelung den bisherigen Tafeln die nachfolgenden Werte.

Es ist bei den mittleren Steigungen, welche nachfolgend angeführt werden, die dazugehörige Stromstärke pro Wagen mit zwei Motoren à 15—35 PS, wenn 10 Wagen gleichzeitig in Betrieb sind:

Mittl. Steigung	1 : 300	1 : 150	1 : 75	1 : 50
Ampère	18,4	19,8	22,8	26

In gleicher Weise werden für 3 Wagen die Stromstärken



	31,4	34	38,7	44

bei 5 Wagen

	23,6	25,6	29,2	33,6

bei 20 Wagen

	15,3	16,7	19	21,9

Aus diesen Zahlen ermitteln wir das Verhältnis der maximalen Stromstärken. Setzen wir dasselbe für 10 Wagen = 1, so wird das Verhältnis für 3 Wagen = 1,7; 5 Wagen = 1,29 und 20 Wagen = 0,84. Diese Werte sind für eine bestimmte Wagentype ermittelt, wie oben angeführt.

Wir wollen nunmehr untersuchen, ob wir dieselben Werte auch bei einer anderen Wagentype erhalten, oder ob für eine solche andere Werte einzusetzen sind.

Wir untersuchen daher in gleicher Weise die Stromstärken für Wagen mit je zwei Motoren à 10—20 PS.

Die Stromstärken pro Wagen sind in diesem Falle bei Verwendung von 10 gleichzeitig fahrenden Wagen die folgenden:

Mittl. Steigung	1 : ∞	1 : 300	1 : 150	1 : 75	1 : 50
Ampère	12,6	13,8	15,1	17,6	20,0

in gleicher Weise für 3 Wagen

Mittl. Steigung	1 : ∞	1 : 300	1 : 150	1 : 75	1 : 50
Ampère	21,7	—	—	—	34

desgl. für 5 Wagen

Mittl. Steigung	1 : ∞	1 : 300	1 : 150	1 : 75	1 : 50
Ampère	16,4	—	—	—	26

desgl. für 20 Wagen

Mittl. Steigung	1 : ∞	1 : 300	1 : 150	1 : 75	1 : 50
Ampère	10,7	—	—	—	17

Diese Aufstellung ergibt das Verhältnis für

3 Wagen = 1,7,
5 „ = 1,3,
20 „ = 0,85.

Wir können daher auch für diese Wagentype dieselbe Kurventafel 6 benutzen.

In gleicher Weise wird in der Ermittelung der Werte für die Wagentype mit einem Motor à 15—35 PS verfahren. Es soll hier nur bemerkt werden, dass bei dieser Wagensorte für 10 Wagen sich aus den gegebenen Kurventafeln folgende Werte ergeben.

Mittl. Steigung	1 : ∞	1 : 300	1 : 150	1 : 75	1 : 50
Ampère	16,2	16,8	17,4	18,7	20,0

Die ermittelten Zahlenwerte beziehen sich sämtlich auf Motorwagen gewöhnlicher zweiachsiger Konstruktion ohne Anhängewagen.

Es kommen nun aber in der Praxis vielfach Anhängewagen bei derartigen Bahnen zur Benutzung. Wollen wir daher eine Tabelle entwerfen, welche für die gangbare Wagentype die erforderliche Stromstärke direkt angibt, so empfiehlt es sich, auch die Anhängewagen in Betracht zu ziehen.

Das Gewicht eines Motorwagens mit zwei Motoren à max. 35 PS kann im Betriebe etwa zu 9 t angesetzt werden, das eines im Betriebe befindlichen Anhängewagens mit ca. 5 t oder etwas weniger, und es ergibt sich das Verhältnis des Gewichts zu etwa 1,5, mit und ohne Anhängewagen.

Wir können nun sagen, dass der Wattstundenverbrauch durch Vermehrung des Zuggewichtes infolge der eintretenden Verbesserung

Tabelle V
über Leistungen und Stromverbrauch von Strassenbahnen.

Spurweite und Motoren	Zahl der Sitzplätze	Zahl der Stehplätze	Geschwindigkeit in Kilometer pro Stunde		Zulässige Steigung ohne | mit Anhängewag. bis 1500 m Länge		Zulässige stärkste Steigung ohne | mit Anhängewag. bis 200 m Länge		Anzahl der Ampère, für welche die Maschinenleistung pro gleichzeitig fahrenden Wagen bei 10 km mittl. Geschwindigkeit zu bemessen ist								Wagengewicht
									Mittl. Steigung 1 : 300		Mittl. Steigung 1 : 150		Mittl. Steigung 1 : 75		Mittl. Steigung 1 : 50		
			Steig.	Horiz.	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	
									Anhängewagen								
Norm. oder 1 m 2 Motoren à 10 bis 20 PS	14	16	10—15	15—25	1 : 25	1 : 50	1 : 15	1 : 25	13	19,5	14,2	21,2	16,5	24,7	19	28	7,5
Norm. oder 1 m 2 Motoren à 10 bis 20 PS	18	20	10—15	15—25	1 : 26	1 : 75	1 : 15	1 : 30	13,8	20,7	15,1	22,5	17,6	26,3	20	30	8
Norm. oder 1 m 1 Motor à 15 bis 35 PS	18	20	10—15	15—25	1 : 40	1 : 50	1 : 15	1 : 30	16,8	25,2	17,4	26,1	18,7	28	20	30	7,5
Norm. oder 1 m 2 Motoren à 15 bis 35 PS	20	20	10—15	15—25	1 : 20	1 : 30	1 : 9	1 : 13	18,4	27,5	19,8	29,7	22,8	33,2	26	39	9

des Wirkungsgrades sich günstiger gestaltet, andererseits ist aber auch nicht ausser acht zu lassen, dass die maximale Stromstärke durch die erhöhten Anforderungen des vermehrten Zuggewichtes, wenn mit Anhängewagen gefahren wird, wesentlich ungünstig beeinflusst wird, so dass es angebracht erscheint, für diese und ähnliche Wagentypen die maximale Stromstärke mit Anhängewagen um 50% höher anzunehmen, als für den Motorwagen allein. Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse ergibt sich nebenstehende Tabelle V.

Die in der vorstehenden Zusammenstellung angegebenen Werte gelten, wie bemerkt, für eine mittlere Geschwindigkeit von 10 km pro Stunde und eine Spannung von 500 Volt, sowie für eine Wagenzahl von 10 gleichzeitig fahrenden Wagen. Dieselben sind mit den aus Tafel 6 ersichtlichen Faktoren zu multiplizieren, wenn die Wagenzahlen andere Werte als 10 annehmen.

Wahl der Berechnungsmethode für den einzelnen Fall.

Bei der Mannigfaltigkeit der Methoden, die uns für die praktische Behandlung eines Bahnprojektes zur Verfügung stehen, mag es angezeigt erscheinen, nach Aufzählung dieser verschiedenen Methoden hervorzuheben, was in Bezug auf die Auswahl der Methoden in einem gegebenen Falle massgebend erscheint.

Wir haben nach Betrachtung einzelner, die Leistung bestimmender Faktoren konstatieren müssen, dass die analytische Einzelberechnung zwar für den einzelnen Wagen unter gewissen Voraussetzungen und unter Verwendung richtig gewählter Faktoren gute Dienste leisten kann, dass aber für die Berechnung der Leistungen von Kraftstationen entweder umständliche Verfahren eingeschlagen werden müssen, oder im Gegensatze hierzu die Wahl von empirischen Endwerten mehr oder weniger anzustreben ist, und demgemäss dürfte es nicht ungerechtfertigt erscheinen, wenn das Streben der Technik im allgemeinen auf Vereinfachung der Methode und auf Bequemlichkeit gerichtet ist, die speziell in der Berechnung von Bahnen darin zum Ausdruck kommt, dass eine möglichst vereinfachte Methode anzuwenden ist.

Die hier zum erstenmale entwickelte Methode ist wohl der Verbesserung und Erweiterung auf Grund von Erfahrungen, besonders in Bezug auf die verwendeten Zahlenwerte fähig, doch kann uns eine gewisse Ungenauigkeit, welche dem erhaltenen Ergebnisse anhaftet, nicht abhalten, ein derartig bequemes Verfahren einzuschlagen, zumal da eine sehr genaue Berechnung der Kraftstationsleistung im allgemeinen weder gefordert wird, noch notwendig ist. Jede Fabrik ist

auf ihre vorhandenen Dynamomodelle mit der gegebenen Tourenzahl angewiesen und wird bei Projektierung vernünftigerweise stets den Grundsatz beherzigen müssen, dass reichlich bemessene Maschinen fast nie von Nachteil, meistens dagegen von Vorteil sind, dass dagegen zu kleine Maschinen einen geregelten und ordnungsmässigen Betrieb unmöglich machen.

Kommen, wie dies sehr häufig, man kann wohl sagen, meistens geschieht, Akkumulatoren (Pufferbatterien) zur Verwendung, so kann man sich in Bezug auf die zweckmässige Ausnutzung der Maschinen überdies weit günstiger stellen, als wenn die maximalen Stromstärken für die Maschinen selbst zu berücksichtigen sind.

Ob die Verwendung von Akkumulatoren in Bezug auf die Ausgaben von wirklich erheblichem Nutzen ist, bleibt eine nicht leicht zu erörternde Frage; soviel steht aber fest, dass eine wesentliche Schonung der Maschinen eintritt, vorausgesetzt, dass die Akkumulatorenbatterie reichlich gross bemessen wird. Die Wahl einer genügenden Akkumulatorenbatterie hat aber auch den wesentlichen Vorteil, dass die bei plötzlicher Entlastung auftretende Ladestromstärke nicht leicht gefährlich werden kann, und vor allem ergibt sich dabei ein sehr ruhiges und vollkommenes Arbeiten der Kraftstation, sowie eine vorzügliche Spannung.

Auch diese eben angeführten Betrachtungen müssen uns darüber belehren, dass eine allzu scharfe Berechnung nicht notwendig erscheint und dass die etwaige Mühe einer sehr umständlichen Rechnung nicht ihrem Werte und ihrer praktischen Benutzung entspricht, vielmehr sollte unser Streben darauf gerichtet sein, die Erfahrungswerte nach Möglichkeit zu sammeln; nur in denjenigen Fällen, welche neue Ausführungsformen zeigen und welche Bahnen von neuem Charakter angehören, ist man mehr auf die analytische Behandlung angewiesen, und es kann aus diesem Grunde die genauer verfahrende formelmässige Ableitung in der Praxis nicht entbehrt werden.

Einfluss der Verwendung von Einrichtungen zur Stromwiedergewinnung bei Thalfahrt.

Wir haben weiter oben konstatiert, dass der Einfluss der Steigungen auf den Energieverbrauch — Wattstunden pro Wagenkilometer — dann anfängt sich besonders bemerkbar zu machen, wenn so starke Steigungen vorkommen, dass auf denselben bei Thalfahrt gebremst werden muss, ein Fall, der eintritt, sobald $s > f$ ist.

Es fragt sich nun, ob es möglich ist, die durch das mechanische Bremsen nutzlos verloren gehende Energie nutzbringend zu verwerten und, indem man dieselbe in Form von elektrischem Strom wieder dem System zuführt, Ersparnisse zu erzielen.

Die Möglichkeit an sich liegt zweifellos vor, es erscheint daher zweckmässig zu erörtern, ob die Grösse der wieder zu gewinnenden Energie erheblich ist.

Ehe wir auf diese Frage näher eingehen können, müssen wir die Mittel und Wege kurz erörtern, welche zu diesem Zweck zur Verfügung stehen.

Es ist bekannt, dass Nebenschlussmaschinen, welche an ein Leitungsnetz mit konstanter Spannung angeschlossen sind, als Stromerzeuger wirken, wenn sie mit mechanischer Kraft angetrieben werden, dass dieselben dagegen Strom aus dem Netz empfangen, wenn man sie in ihrem Lauf hemmt, d. h. bremst. Es bedarf nur einer ganz geringen Aenderung der Tourenzahl im positiven oder negativen Sinne, um die Erscheinung wechselnd zwischen Kraftempfang und Kraftabgabe zu Wege zu bringen.

Durch diese Thatsache ist ohne weiteres ein Beleg dafür gegeben, dass Stromwiedergewinnung bei Thalfahrt eines Motorwagens möglich ist, es entspricht die Beschleunigung, welche auf das Wagengewicht wirkt, hierbei der antreibenden Kraft des erörterten Analogiefalles.

Nun ist es aber bekannt und wird später noch näher zu beleuchten sein, dass Nebenschlussmotoren sich zum Bahnbetrieb sehr wenig eignen, man wendet dieselben daher fast gar nicht an und muss so naturgemäss auf die Anwendung der Stromwiedergewinnungseinrichtung in dem besprochenen Sinne verzichten.

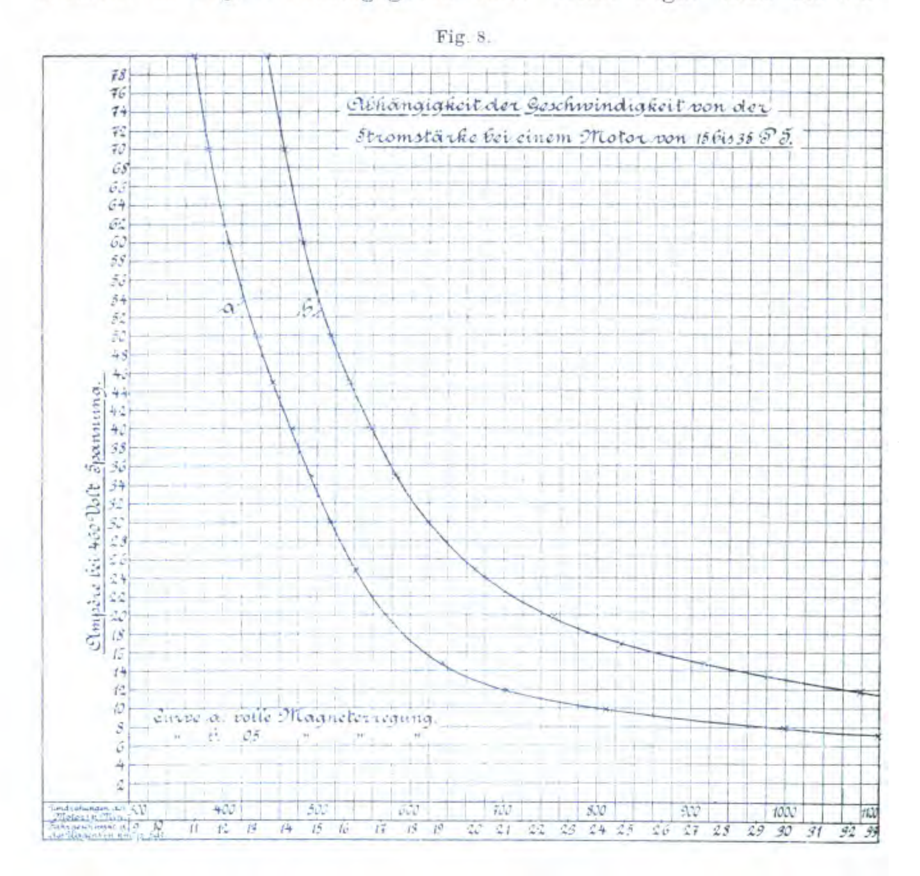
Es gibt aber noch ein Auskunftsmittel, um auch bei den im Bahnbetriebe mit Recht fast ausschliesslich verwendeten Hauptstrommotoren dieselbe Erscheinung wachzurufen. Dieses Mittel besteht in der vom Verfasser erdachten Einrichtung, welche auf der Verwendung einer kleinen Hilfsakkumulatorenbatterie beruht. Diese aus wenigen Zellen, von übrigens geringer Kapazität, bestehende Batterie wird während des Betriebes geladen, solange Steigungen oder horizontale Strecken durchfahren werden, bei der Thalfahrt dagegen dient dieselbe zur Erregung der Magnetschenkel und befähigt so den Motor, als Dynamomaschine zu funktioniren und die mechanische, während des Bergabfahrens frei werdende Energie in Strom zurückzuverwandeln.

Wir wollen an dieser Stelle auf die Einrichtung selbst nicht

näher eingehen[1]), vielmehr untersuchen, ob die übrigens schon öfter für und wider ventilierte Frage nach dem Nutzen des Verfahrens der Stromwiedergewinnung in günstigem oder ungünstigem Sinne bei gegebenen Verhältnissen zu beantworten ist.

Wir legen unserer Betrachtung die Einrichtung des Verfassers zu Grunde und setzen beispielsweise voraus, dass als Motoren in dem Wagen diejenigen benutzt werden, deren charakteristische Eigenschaften in Fig. 8 wiedergegeben sind. Diese Figur lässt die Ab-

Fig. 8.



hängigkeit der Fahrgeschwindigkeit von der auftretenden Stromstärke der Hauptstrommotoren der Akt.-Ges. Elektrizitätswerke vorm. O. L. Kummer & Co. erkennen.

Die Hilfsbatterie soll nun beispielsweise so bemessen sein, dass sie in der Schenkelwindung jedes Motors bei Erregung derselben während der Thalfahrt 15 Ampère erzeugt.

[1]) Vergl. den Abschnitt: Steuerapparate.

Wir wollen untersuchen, unter welchen Verhältnissen, mit welchem Wirkungsgrade etc. die Motoren des Wagens hierbei arbeiten.

Wir entnehmen der Kurventafel, dass bei 15 Ampère eine Geschwindigkeit von V = 19 km pro Stunde eintritt bei einer Spannung von 460 Volt. Die Schaltung ist aber bei der gedachten Anordnung des Verfassers so getroffen, dass, aus Rücksicht auf die Notwendigkeit einer mässigen Geschwindigkeit bei Thalfahrt und vor allem auch eines guten Wirkungsgrades und daher mässig grosser Magnetisierung, die Anker der beiden Motoren hintereinander geschaltet sind, während übrigens die Magnetwickelungen von der Batterie parallel erregt werden. Dies hat zur Folge, dass die Geschwindigkeit bei Thalfahrt in Wirklichkeit etwa halb so gross ist, als der Grösse von 15 Ampère in der Kurventafel entspricht, d. h. V = 9,5 bis 10.

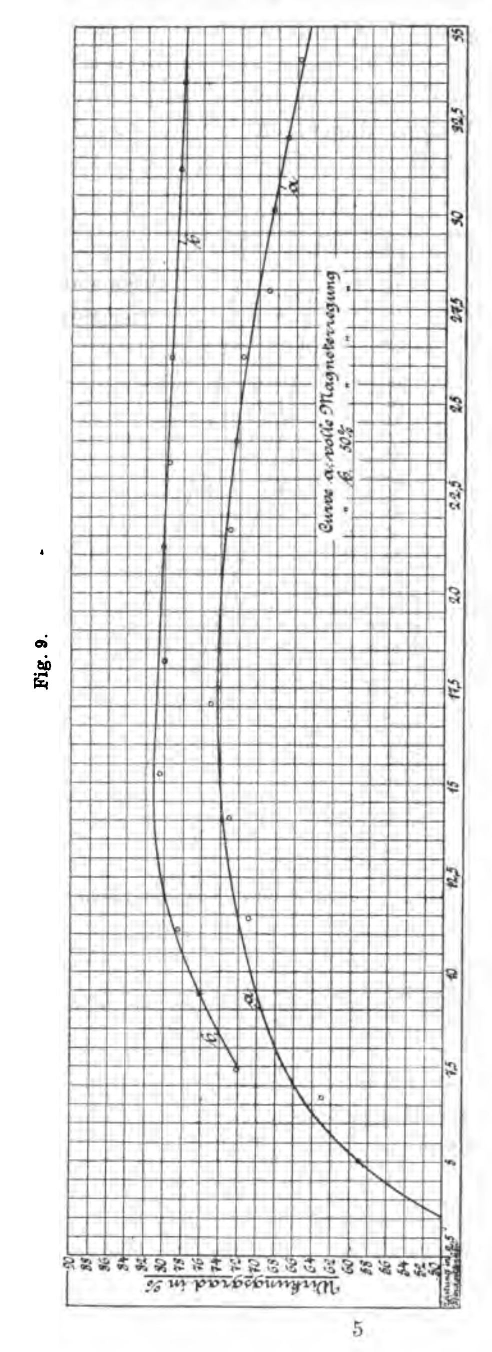


Fig. 9.

Um die in den Motoren auftretenden Verluste zu ermitteln, bedienen wir uns der Fig. 9, welche für verschieden grosse Leistungen in Pferdestärken den Wirkungsgrad des betrachteten Motors angibt. Bei einer Stromstärke von 15 Ampère erhalten wir bei 460 Volt eine Leistung von 5,9 PS bei einem Wirkungsgrade von 0,63 entsprechend der Kurve a der Tafel.

Der Verlust beträgt dabei

15 . 460 . (1—0,63)
= 15 . 460 . 0,37 = 2550 Watt.

Da wir die Magnetschenkel separat erregen, gehen in unserem Fall weniger verloren — bei einem Widerstande der Schenkelwickelung von ca. 1 Ohm, wobei 1 Ohm . 15 Ampère = 15 Volt die erregende Spannung ist —

$$15 \cdot 15 = 225 \text{ Watt pro Motor.}$$

Der Verlust beläuft sich daher ohne die Erregungsenergie auf

$$2550 - 225 = 2325 \text{ Watt.}$$

Da wir zwei Anker hintereinander geschaltet haben und hierbei nur die halbe Geschwindigkeit erreichen, wird der Verlust in unserem Fall auf etwa die Hälfte reduziert, welche pro Motor 1163 Watt beträgt. Da jedoch die Stromstärke im Anker, dessen Widerstand 0,4 Ohm beträgt, dieselbe geblieben ist, so haben wir die Hälfte von $15^2 \cdot 0{,}4 = 90$ zuviel abgezogen, und es ist daher für den Gesamtverlust $1163 + 45 = 1208$ Watt zu rechnen. Die beiden Motoren leisten bei Thalfahrt mit 15 Ampère bei 460 Volt 6900 Watt und verbrauchen nach unserer Ermittelung dazu

$$\frac{6900 + 2416}{736} = \frac{9316}{736} = 12{,}6 \text{ PS}$$

bei einer Geschwindigkeit von etwa V = 10. Dazu gehört eine Leistung, welche folgenden Verhältnissen entspricht:

$$\frac{T \cdot (s - f) \cdot V}{3{,}6 \cdot 75} = 12{,}6 \text{ PS.}$$

Ist T = 10 und f = 8, so wird der Ausdruck

$$\frac{10\,(s - 8) \cdot 10}{3{,}6 \cdot 75} = 12{,}6,$$

woraus folgt

$$s = 42, \text{ d. i. eine Steigung } 1 : 24,$$

welche als durchaus mässig bezeichnet werden muss, da sie bei allen Bahnen, die starke Steigungen aufweisen, sehr häufig vorkommt und vielfach überschritten wird.

Die Schaltung, welche wir im Auge haben, ist so getroffen, dass die Batterie während der Fahrt geladen wird. Da für gewöhnlich eine grosse Menge Energie in Verschaltwiderständen verloren geht, hier aber teilweise die Hülfsbatterie an deren Stelle tritt, so kann dieser Aufwand vernachlässigt werden, und es ergibt sich der Wirkungsgrad der Motoren demgemäss zu

$$\frac{6900}{9316} = 0{,}74,$$

die Stromwiedergewinnung arbeitet daher durchaus ökonomisch, wenn sie so eingerichtet wird, wie beschrieben. Nebenschlussmotoren würden, wie wir hier bemerken wollen, gemäss dem Erörterten nicht so vorteilhaft, vielmehr mit wesentlich schlechterem Wirkungsgrade arbeiten.

Es ist übrigens zu beachten, dass die in unserem Beispiel behandelte Stromstärke wesentlich grösser ist als die mittlere für die gewöhnliche Fahrt des Wagens.

Die Bremsung.

Nicht nur die Fortbewegung der Fahrzeuge und die dazu aufzuwendende Kraft, sondern auch die Hemmung der Fahrt verdient als einer der wichtigsten Faktoren des Bahnbetriebes volle Beachtung.

Die Hemmung eines in Fahrt befindlichen Wagens oder Zuges erfolgt durch Bremsung oder analoge Einrichtungen. Bei Strassenbahnen besteht die Bremse gewöhnlich in einer Kurbel, mit Hilfe deren der Wagenführer eine Achse in Drehung versetzt, die ihrerseits meist durch Vermittelung von Zugorganen, Ketten, bisweilen auch Druckorganen die Bremsklötze an den Randumfang andrückt. Die zwischen Radreifen und Bremsbacken entstehende Reibung bewirkt eine Verzögerung der Fahrgeschwindigkeit, auf Wunsch bis zum Stillstand. Es ist bekannt und selbstverständlich, dass die Grösse der an der Kurbel ausgeübten Kraft von Einfluss auf die Stärke der Bremswirkung ist.

Die praktische Ausführung der Handbremsen ist allmählich vervollkommnet worden. In früheren Zeiten war die Anwendung je einer Bremsbacke an jedem Rade gebräuchlich, später ist man dazu übergegangen, die Zahl der Bremsbacken zu erhöhen, und hat so Anordnungen geschaffen, bei denen ein zweiachsiger Wagen acht derartige Bremsklötze aufweist. Es ist nun klar, dass die Vergrösserung der Zahl der Backen allein die Wirkung der Bremse nicht von Grund auf verbessern kann, vielmehr gehört dazu auch, dass die Summe der Einzeldrucke, welche durch die verschiedenen Backen ausgeübt werden, vermehrt wird. Es ist deshalb erforderlich, die Gesamtbremskraft zu steigern und aus dem Grunde, weil die von dem Wagenführer auszuübende Kraft am Bremshebel naturgemäss begrenzt ist, das Uebersetzungsverhältnis zwischen Bremskurbel und Bremsbacken zu vergrössern. Gelingt es auf diese Weise, den Druck in Kilogramm pro Bremsklotz wieder auf die Höhe zu bringen, die derselbe bei den einbackigen Bremsen besitzt, so wird die Bremswirkung in demselben

Masse vergrössert, wie die Anzahl der Backen, und die erstrebte Verbesserung der Bremswirkung ist somit erreicht.

In jedem Fall, d. h. bei jeder Ausführungsweise der Bremsen ist die Anwendung mehrfacher Uebersetzung erforderlich. In Fig. 10 ist schematisch die Einrichtung einer Bremse skizziert. Mit Hilfe der Kurbel K wird die Achse A gedreht und es wickelt sich infolgedessen auf einen Theil derselben, der in der Figur durch die Rolle R angedeutet ist, die Kette k auf, welche an dem längeren Arm des Hebels H angreift, denselben um den festen Punkt p dreht und so die Backe B in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung an den Radreifen drückt.

Fig. 10.

Wie bereits in der schematischen Skizze angedeutet, kann das Uebersetzungsmittel in sehr verschiedener Weise ausgebildet werden, z. B. als runder Drehkörper (Stab, Rolle) oder als Hebel, als Zahnrad u. dergl.

Zurückkehrend zu unserer Betrachtung über die Summe aller Einzeldrucke, welche zwischen den Bremsbacken und Bandagen auftreten, werden wir nicht verkennen dürfen, dass die durch die Bremswirkung hervorgebrachte hemmende Kraft abhängig von dem spezifischen Druck an der Bremsoberfläche ausfällt. Machen wir jedoch die Voraussetzung wie oben, dass stets pro Bremsbacke ein bestimmter Druck zu stande kommt, so gibt uns die Zahl der Bremsbacken die hemmende Kraft ohne weiteres an. Natürlich ist bei gegebener Bremskraft am Bremshebel, wie erwähnt, eine entsprechend höhere Uebersetzung zu wählen und demgemäss auch eine grössere Drehung der Kurbel erforderlich.

Man könnte nun aus der angeführten Betrachtung schliessen, dass man im stande wäre, durch Vergrösserung des Gesamtbremsdruckes, an allen Rädern zusammengenommen, die bremsende Wirkung ganz beliebig zu vermehren. Hierbei würde man einen wesentlichen Punkt übersehen.

Steigert man die Hemmung der Räder durch irgend ein Mittel immer weiter, so erreicht man einen gewissen Zeitpunkt, in dem die Räder, anstatt sich unter starker Reibung an den Bremsklötzen vorbeizudrehen, stehenbleiben und, ohne sich zu drehen, auf den Schienen

gleiten. Wäre dieser Zustand derjenige, welcher die grösste hemmende Kraft entgegen der Bewegung des Wagens ausübt, so müsste man ihn als den anstrebenswerten bezeichnen. Dies ist aber nicht der Fall; denn bei dem Gleiten eines bestimmten Punktes am Radumfang auf den Schienen ist die Reibung kleiner, als wenn fortwährend neue Punkte in Berührung kommen. Zudem hätte die Anwendung des Bremsens bis zum Stillstand den technischen Nachteil, dass sich jedesmal einzelne Punkte des Radumfanges abnutzen, während die Abnutzung, solange das Rad sich dreht, eine gleichmässige Verteilung besitzt. Diese schon oft beobachtete Thatsache setzt gleichzeitig der Grösse des zulässigen Gesamtbremsdruckes eine obere Grenze.

Betrachten wir nun im Gegensatz zu den mechanischen Bremseinrichtungen gleich die elektrischen der Motorwagen, so haben wir besonders diejenigen in Rücksicht zu ziehen, welche auf der Thatsache basieren, dass jeder Elektromotor unter gewissen Voraussetzungen in eine Dynamomaschine verwandelt werden kann, dass man also durch Umschaltung der Motoren eine hemmende Wirkung auszuüben vermag.

Diese sogenannten Kurzschlussbremsen, bei denen der Motor oder die Motoren als Dynamomaschinen auf einen Widerstand geschaltet und durch weitere Schaltstellungen kurz geschlossen werden, haben die Wirkung, dass, solange der Wagen schnell läuft, d. h. die Räder sich drehen, eine Bremswirkung eintritt, dass dieselbe jedoch sofort aufhört, wenn die Rotation der Wagenachsen Null wird, ja sogar, wenn dieselbe unter einen gewissen Grad von Umdrehungsgeschwindigkeit herabgeht. Man wird also stets über die grösste Hemmung an den Schienen verfügen und kann daher die Bremsung des Wagens durch Hemmung der Achsen bis zu dem höchst erreichbaren Grade steigern. Allerdings liegt in dem erwähnten Aufhören der Bremswirkung bei geringer Geschwindigkeit ein gewisser Nachteil der Kurzschlussbremse, welcher nur dadurch behoben werden kann, dass man wie bei dem früher erwähnten Verfahren der Stromwiedergewinnung die elektrischen Maschinen mit besonderer Erregung der Magnete versieht.

Es ist von Interesse, den Vorgang der Bremsung zahlenmässig verfolgen zu können, und zwar ist in Bezug hierauf besonders der Bremsweg von Interesse.

Wollen wir ermitteln, wieviel Meter der Wagen vom Beginn der Bremsung an noch zurücklegt, so stehen uns folgende Ueberlegungen zur Verfügung.

Der fahrende Wagen besitzt eine gewisse kinetische Energie,

deren Grösse von dem Gewicht und der Geschwindigkeit des Wagens abhängt. Bekanntlich drückt sich diese Energie als die lebendige Kraft aus, welche sich aus der Masse und dem halben Quadrat der Geschwindigkeit zusammensetzt.

Das Kilogrammgewicht eines Wagens ist nach den früheren Bezeichnungen T . 1000 und seine Masse demzufolge $\frac{T \,.\, 1000}{9{,}81}$. Da die Geschwindigkeit pro Sekunde mit v bezeichnet ist, so ergibt sich die lebendige Kraft als

$$\frac{T \,.\, 1000}{2 \times 9{,}81} \,.\, v^2 \text{ kgm.} \qquad 32)$$

Dieser Betrag an kinetischer Energie ist durch die Bremsung zu vernichten. Der im früheren erwähnte Bremsdruck erzeuge bei der durch die Verhältnisse gegebenen Grösse des Reibungskoëffizienten einschliesslich der Schienenreibung etc. die hemmende Kraft P. Ist der Bremsweg l, so entspricht, unter der Voraussetzung, dass P konstant gehalten wird, die Grösse P . l der zu vernichtenden Arbeit, d. h. es kann gesetzt werden

$$\frac{T \,.\, 1000}{2 \,.\, 9{,}81} \,.\, v^2 = P \,.\, l. \qquad 33)$$

Ist uns daher die Grösse der Kraft P bekannt, so kann man für jede beliebige Geschwindigkeit des Wagens den Bremsweg ermitteln, und zwar ist derselbe

$$l = \frac{T \,.\, 1000 \,.\, v^2}{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, P} \qquad 34)$$

Aus unserer früheren Betrachtung über das Gleiten zu stark gebremster Räder geht hervor, dass die Anzahl der Achsen, welche gebremst werden, von Einfluss auf die Bremswirkung ist. Wendet man die elektrische Bremsung an, so kann natürlich jede Achse, die mit einem Motor ausgerüstet ist, gebremst werden. Besitzt der Zug noch weitere Achsen, so lässt sich die elektrische Bremsung verstärken, wenn man auf die freien Achsen elektrische Hilfsbremsen setzt, bei denen durch die Wirkung einer Spule, welche von dem Bremsstrom mit durchflossen wird, Magnetismus erzeugt und durch denselben zwei reibende Flächen aufeinander gedrückt werden, so dass die Achse gebremst wird. Die Wirkung ist hierbei dieselbe wie bei der mechanischen Bremse. Die bisweilen irrtümlicherweise den durch das Wandern des Magnetismus entstehenden Wirbelströmen zugeschriebene Wirkung ist zu vernachlässigen.

Ganz analog der Hemmung eines in Fahrt befindlichen Wagens durch Bremsung ist der Vorgang, sobald der Wagen aus dem Stillstand in Bewegung gesetzt wird. Genau dieselbe Arbeitsmenge, welche dem in Bewegung befindlichen Wagen bei der Bremsung genommen wird, ist notwendig, um denselben aus dem Stillstand in die betrachtete Geschwindigkeit zu versetzen, d. h. der Aufwand beträgt

$$\frac{T \cdot 1000}{2 \cdot 9{,}81} \cdot v^2 \text{ kgm. } \quad \ldots \ldots \quad 35)$$

Die Energie wird dem Motorwagen in der Form von Strom, d. h. von Wattstunden, zugeführt.

Um den Betrag an Kilogrammeter in Wattstunden zu verwandeln, haben wir dieselbe mit dem Beschleunigungswert 9,81 zu multiplizieren und durch den Wirkungsgrad der elektrischen Einrichtung η zu dividieren. Wollen wir den Endwert in Wattstunden erhalten, wie es den technischen Anschauungen besser entspricht, so müssen wir ferner durch 3600 dividieren. Es sind demgemäss zum Anfahren notwendig

$$\frac{T \cdot 1000 \cdot v^2}{2 \cdot 9{,}81} \cdot \frac{9{,}81}{\eta \cdot 3600} = \frac{T \cdot v^2}{2 \cdot \eta \cdot 3{,}6} = \frac{T \cdot v^2}{7{,}2\, \eta} \text{ Wattstunden.} \quad 36)$$

Beispielsweise würde bei einem durchschnittlichen Wirkungsgrade $\eta = 0{,}5$ während des Anfahrens für einen Wagen von 10 t zur Erlangung einer Geschwindigkeit von 4 m pro Sekunde ein Aufwand notwendig sein von

$$\frac{10 \cdot 16}{7{,}2 \cdot 0{,}5} = 44{,}4 \text{ Wattstunden.}$$

Würde daher der betrachtete Wagen pro Wagenkilometer 450 Wattstunden verbrauchen und alle 500 m halten, so würde der Aufwand für Anfahren etwa 20 % von dem Totalverbrauch ausmachen.

Ist der Wirkungsgrad noch kleiner und die Geschwindigkeit noch grösser, so macht sich der Einfluss des Anfahrens, wie wir aus den Grössenverhältnissen erkennen, noch mehr bemerkbar.

So ist z. B. eine Geschwindigkeit von $v = 7$ m/Sek. als ganz normal zu betrachten, dabei ein Wirkungsgrad von 0,3 beim Anfahren mit Verschaltwiderständen nicht ganz ausser Bereich der Thatsachen. Das gibt aber für ein Wagengewicht von 10 t

$$\frac{10 \cdot 49}{7{,}2 \cdot 0{,}3} = 227 \text{ Wattstunden}$$

zum Anfahren. Dies ist ein beinahe abschreckend hoher Betrag. Der geschilderte Einfluss wird teilweise dadurch gemildert, dass häufig

mit ungleichmässiger Geschwindigkeit gefahren wird, indem der Wagenführer den Wagen teilweise „auslaufen" lässt und ihn erst bei geringer Geschwindigkeit bremst.

Es ist daher für die Berechnung der Anfahrverluste richtiger nicht die nach dem Anfahren erzielte Geschwindigkeit, sondern diejenige durchschnittlich vorhandene Geschwindigkeit einzusetzen, welche dem Bremsen unmittelbar vorangeht.

Dabei müssen sogar, strenge genommen, die Energiemengen in Abzug gebracht werden, welche der Reibungsarbeit für die Bremsstrecke entsprechen, d. h. derjenigen Arbeit, welche zum Durchfahren des Weges von Beginn der Bremsung bis zum Stillstand notwendig ist, und die hierbei durch die lebendige Kraft mitgedeckt werden.

Bei Berücksichtigung des Anfahrens gestaltet sich die Formel 15) für den Wattstundenverbrauch pro Tonnenkilometer zu

$$W_1 = f \cdot c \cdot \frac{L_m}{L_h} + \frac{v^2 \cdot N}{7{,}2 \cdot \eta},$$

worin N die Anzahl Haltepunkte pro Kilometer und η den beim Anfahren vorhandenen Wirkungsgrad bedeutet.

Beispiele für Berechnung von Strassenbahnzentralen.

Der Anschaulichkeit wegen sollen der Erörterung der in vorstehendem behandelten Methoden, von denen nur diejenige, welche sich auf die Tabellen 1—4 aufbaut, zu einem Zahlenbeispiel ausgebildet worden ist, weitere praktische Anwendungen der verschiedenen Methoden in der Form von Beispielen angefügt werden.

Legen wir die Methode der Maschinenberechnung nach dem Wattstundenverbrauch zu Grunde, so können wir ansetzen

$$W_1 = f \cdot c \cdot \frac{L_m}{L_h},$$

und wenn $f = 10$, $c = 4{,}95$ entsprechend einem $\eta = 0{,}55$ gesetzt wird und $\frac{L_m}{L_h} = 1$ ist,

$$W_1 = 10 \cdot 4{,}95 \cdot 1 = 49{,}5.$$

Beträgt das Wagengewicht $T = 8$ t, so ist

$$W_z = 8 \cdot 49{,}5 = 396 \text{ Wattstunden.}$$

Nun sei die Länge der Strecke 10 km, sie werde alle fünf Minuten

in beiden Richtungen mit einer mittleren Geschwindigkeit von 10 km pro Stunde durchfahren, dann ist

$$A = \frac{60 . 20}{10 . 5} = 24 \text{ Wagen.}$$

Die mittlere Wattleistung pro Wagen ist

$$L_m = 10 . 396 \text{ Watt,}$$

oder

$$3{,}96 \text{ Kilowatt,}$$

daher ist

$$L_s = 24 . 3{,}96 = 95 \text{ Kilowatt.}$$

Es ist demnach notwendig, eine Dynamomaschine von 95 Kilowatt [1]) Dauerleistung und eine genügend grosse Pufferbatterie aufzustellen.

Leistet die Dynamomaschine pro effektive Pferdestärke 665 Watt, so ist die zugehörige Dampfmaschinenleistung

$$\frac{95}{0{,}665} = 143 \text{ PS.}$$

Unter Anwendung der Methode der Bestimmung der Station nach der Grösse der Motoren und mittleren Steigung gestaltet sich die Ermittelung wie folgt:

Die maximale Steigung betrage 1 : 20 und es werde ohne Anhängewagen gefahren. Die Wagen werden mit je einem Motor von 15—35 PS ausgerüstet. Die mittlere Steigung sei 10 pro mille. Wir benutzen die Tafel IV.

Zu dem Zweck ermitteln wir zunächst die Wagenzahl A.

Die Länge der Strecke sei 12 km, es werde alle 10 Minuten mit einer Geschwindigkeit von 12 km pro Stunde gefahren, dann ist

$$A = \frac{60 . 24}{12 . 10} = 12 \text{ Wagen.}$$

Die Tafel IV gibt uns an für 12 Wagen und $s_m = 10$ eine maximale Stromstärke von 212 Ampère, bei 10 km Geschwindigkeit und 500 Volt Betriebsspannung. Da in unserem Falle die Geschwindigkeit $V = 12$ ist, so haben wir bei Zugrundelegung von 500 Volt Betriebsspannung am Fahrdraht zu rechnen

$$212 . 1{,}2 = 254 \text{ Ampère.}$$

Die mittlere Stromstärke ist nach der Tafel IV 114 Ampère, in unserem Falle somit

$$114 . 1{,}2 = 137 \text{ Ampère.}$$

---

[1]) Mit einem Zuschlag von 5—10 % für Verluste in der Batterie etc.

Die Differenz der maximalen gegen die mittlere Stromstärke beträgt daher

$$254 - 137 = 117 \text{ Ampère.}$$

Entsprechend dieser Rechnung ist es erforderlich, die Bahn mit einer Maschine auszurüsten, welche maximal 254 Ampère hergeben kann, oder mit einer Maschine, welche dauernd 137 Ampère leistet und mit einer Pufferbatterie für eine normale Entladestromstärke von mindestens 117 Ampère. (Einstündiger Entladestrom 234.)

Als weiteres Beispiel diene das folgende:

Die maximale Steigung sei 1 : 15, die Züge sollen zum Teil aus einem Motor- und einem Anhängewagen bestehen. Es wird demgemäss ein Wagenmodell mit zwei Motoren von maximal 35 PS gewählt.

Es sei $V = 10$, $t = 7{,}5$, $K = 2 \,.\, 25$, woraus folgt

$$A = \frac{60 \,.\, 50}{10 \,.\, 7{,}5} = 40 \text{ Wagen.}$$

Hiervon seien 30 Wagen ohne und 10 Wagen mit Anhängewagen ausgerüstet; die Spannung betrage 500 Volt und die mittlere Steigung sei 18 pro mille, dann ergibt Tafel II für 40 Wagen eine Stromstärke von 763 Ampère für Motorwagen ohne Anhängewagen. Die 10 Wagen mit Anhängewagen können wir berücksichtigen, indem wir ausrechnen, dass die Stromstärke pro Motorwagen $\frac{763}{40} = 19$ Ampère beträgt. Für die Anhängewagen rechnen wir die Hälfte, also 9,5 Ampère, und insgesamt $10 \,.\, 9{,}5 = 95$ Ampère.

Die maximale Stromstärke für die ganze Bahn beträgt somit $766 + 95 = 861$ Ampère.

Als mittlere Stromstärke für 40 Wagen ergibt Tafel II 484 Ampère, d. h. pro Wagen $\frac{484}{40} = 12$, somit für die Anhängewagen $6 \,.\, 10 = 60$ Ampère, und für die gesamte mittlere Stromstärke $484 + 60 = 544$ Ampère. Die Differenz $861 - 544 = 317$ Ampère entfällt auf die etwaige Pufferbatterie.

Die von uns betrachtete Anlage erfordert eine Dampfmaschinenanlage, welche dauernd etwa $\frac{544 \,.\, 500}{670} = 406$ PS[1]) leisten kann, und eine Pufferbatterie für eine normale Entladestromstärke von mindestens 317 Ampère. (Einstündiger Entladestrom 634.)

Um endlich das Verfahren unter Benutzung der Tabelle V durchzuführen, diene folgendes Beispiel:

---

[1]) Mit einem Zuschlag von 5—10 % für Verluste in der Batterie etc.

Streckenlänge = 15, d. h. K = 30; t = 20, V = 10, daher

$$A = \frac{60 \cdot 30}{10 \cdot 20} = 9.$$

Die mittlere Steigung betrage 1 : 150 und es sei ein Wagenmodell mit Motoren à maximal 20 PS gewählt. Unter der Voraussetzung, dass keine Anhängewagen verwendet werden, ergibt sich aus Tabelle V für jeden Wagen eine Stromstärke von 15,1 Ampère.

Dieser Wert bezieht sich jedoch auf eine Anzahl von 10 Wagen, da wir nur 9 verwenden, ist gemäss Fig. 7 noch der Faktor 1,03 anzubringen und es ergibt sich eine maximale Stromstärke von 15,1 . 1,03 . 9 = 140 Ampère.

Behandeln wir in gleicher Weise das Beispiel nach Fig. 1 gemäss Tabelle V, so finden wir folgendes: Die Höhendifferenz in dem Nivellement beträgt 95 m, die Gesamtlänge 8230 m, daher ist die mittlere Steigung 1 : 87.

Es fahren 14 Motorwagen mit Anhängewagen, und zwar sind die Motorwagen mit zwei Motoren à maximal 20 PS ausgerüstet.

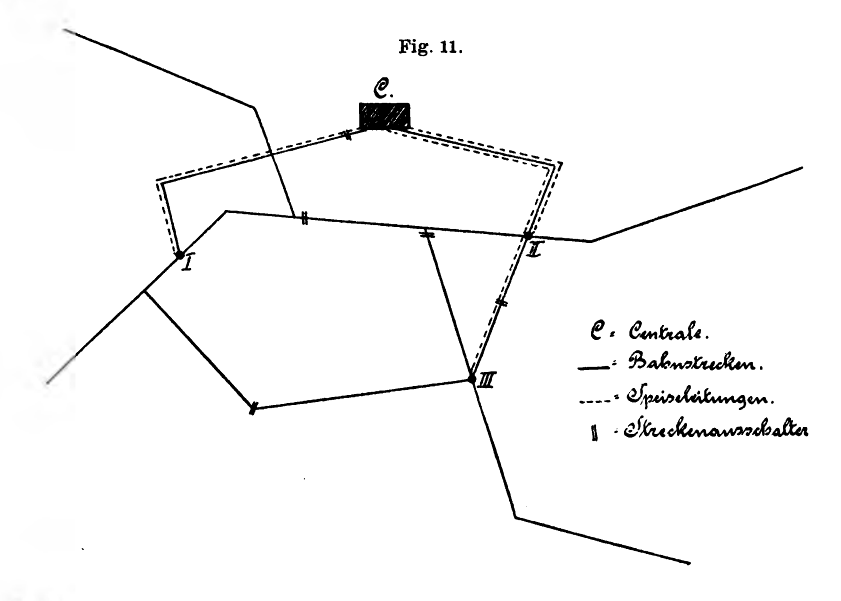
Die Tabelle V ergibt pro Motorwagen mit Anhängewagen bei 1 : 75 26,3, bei 1 : 150 22,5 Ampère. Für 1 : 87 erhält man durch Interpolation 25,7 Ampère. Da die Geschwindigkeit V = 15 ist, so sind diese Werte um 50 % zu erhöhen. Wir erhalten daher 14 . 25,7 . 1,5 = 540 Ampère oder 540 . 500 = 270000 Watt. Hierzu sind $\frac{270\,000}{670} = 403$ PS erforderlich, ein Wert, der von dem nach der früheren Methode ermittelten Betrag von 430 PS etwas, aber nicht sehr erheblich, abweicht.

Berechnung und Disponierung der Leitungen.

Die Anlage der elektrischen Zuleitungen hat bei Bahnen in grösseren Städten naturgemäss eine gewisse Aehnlichkeit mit der Anordnung der Leitungen in Lichtwerken. Eine grosse Anzahl von Strassen wird von Bahnen durchzogen, und es ist nötig, von der Kraftstation aus eine Reihe von Speisekabeln anzulegen, welche dem verzweigten Oberleitungssystem an gewissen Speisepunkten den Strom zuführen. In Fig. 11 ist ein Beispiel einer solchen Anlage schematisch gegeben. Es sind in diesem Falle drei Speisepunkte vorhanden, denen von der Zentrale C aus beispielsweise durch unterirdische Kabel der Strom zugeführt wird. Nimmt man nun an, dass sämtliche Fahrdrahtstrecken miteinander in Verbindung stehen, so erhält man eine ähn-

liche Stromverzweigung wie bei Beleuchtungswerken. Man kann demgemäss in Bezug auf die Berechnung ähnlich verfahren wie in jenem Fall, indem man voraussetzt, dass in den verschiedenen Speisepunkten gleiche Spannung herrscht, und die Stromverteilung und die Spannungsverluste ermittelt. Man hätte zu diesem Zwecke eine bestimmte Stellung der Wagen sowie die dazugehörigen Stromstärken gemäss der zu durchfahrenden Steigung und Geschwindigkeit zu markieren. In einem wesentlichen Punkte würde dieses Vorgehen nicht die gleiche Berechtigung verdienen, wie bei einer Beleuchtungszentrale, und zwar

Fig. 11.



darin, dass nicht eine bestimmte maximale Beanspruchung von vornherein gegeben ist, vielmehr bei der Fortbewegung der fahrenden Wagen die Stromkonstellation sich fortwährend ändert. Ausserdem aber variiert, wie bereits früher betont, die Stromstärke jedes Wagens nicht nur nach äusseren Gesetzmässigkeiten, die von dem Charakter der Strecke abhängen, sondern sie wird wesentlich beeinflusst durch die mehr oder weniger willkürliche Handhabung der Steuerapparate und die Unmöglichkeit, dauernd eingeschaltet zu lassen, sowie durch den sehr wechselnden Wirkungsgrad. Hierzu kommt aber noch ein weiterer, sehr wichtiger Umstand, nämlich derjenige, dass es gerade bei sehr ausgedehnten Bahnnetzen durchaus unzulässig erscheint, die ganze Fahrdrahtanlage in Zusammenhang zu lassen. An einer Reihe von Stellen werden bei jeder Bahn Streckenausschalter in die Leitung eingebaut, um eine Trennung zu bewirken, und bei jeder derartigen

Anlage muss sich der Betriebsleiter vorbehalten, einzelne Rayons von einander zu trennen, wenn dies der Betrieb wünschenswert erscheinen lässt. Es ist daher als unbedingtes Erfordernis jeder Bahnanlage hinzustellen, dass es keine Schwierigkeiten machen darf, das Versorgungsgebiet jedes Speisepunktes von demjenigen der anderen zu trennen. Diese Bedingung hat aber einen sehr einschneidenden Einfluss auf die Grundlagen für die Berechnung der Speisekabel. Weil nämlich dementsprechend die massgebenden Verhältnisse nicht dann vorliegen, wenn alles in Zusammenhang ist, sondern dann, wenn jeder Speisepunkt für sich arbeitet, so sind für die Berechnung durchaus andere Stromstärken massgebend, als diejenigen, welche nach der erwähnten, dem Lichtleitungsnetz analogen Berechnung sich ergeben würden. Wie gross dieser Unterschied ist, erkennt man, sobald man sich ins Gedächtnis zurückruft, in wie hohem Masse die Bahnstromstärken schwanken.

Bevor wir nun auf die eigentliche Berechnung eingehen können, ist es nach dem Erörterten notwendig, zunächst die Bedingungen aufzustellen, welche zu erfüllen sind. Es ist von vornherein klar, dass dem Spannungsverlust bei Bahnen nicht die Bedeutung zukommt, wie bei der Versorgung von Lampen. Bei den von einem Lichtwerk gespeisten Glühlampen, welche allen möglichen Zwecken dienen, ist eine einigermassen merkbare Abweichung von der normalen Spannung unzulässig; ganz besonders würden aber öftere Schwankungen in derselben in vielen Fällen lästig empfunden werden. Anders ist es bei den Bahnen. Für die Fortbewegung des Motorwagens ist es praktisch unmerkbar, wenn die Spannung um 5% von der normalen abweicht, selbst 10% Abweichung konstatieren zu können, ist nur ein geübter Wagenführer im stande. Es folgt daraus, dass wir in dem von uns betrachteten Falle weit höhere Differenzen der Nutzspannung ohne Nachteil zulassen können, als bei Beleuchtungsspannung.

Liegt auf der einen Seite die Sache verhältnismässig günstig, so ist auf der anderen leider im Einklang mit dem früher Gesagten zu konstatieren, dass die Bedingungen des Betriebes das Entstehen von Spannungsdifferenzen sehr begünstigen. Nicht nur, dass das fortwährende Schwanken des Stromes einen dauernden Wechsel in der Grösse der Spannungsverluste hervorruft, es kommt noch hinzu, dass durch die Unregelmässigkeit der Stromentnahme auch die Kraftstation in Mitleidenschaft gezogen wird, wodurch die entstehenden Spannungsdifferenzen wesentlich grösser werden, als den Verlusten entspricht.

Aus diesem Grunde ist die Durchführung einer vollständigen Leitungsnetzberechnung in der oben angedeuteten Weise auf eine Reihe

von Voraussetzungen angewiesen, welche der Wirklichkeit widersprechen. Einigermassen durchführbar bleibt diese Methode für die mittleren Stromstärken, welche sich aus dem Wattstundenverbrauch pro Wagenkilometer ergeben, allenfalls für die mittleren Stromstärken unter Berücksichtigung der lokalen Steigungsverhältnisse. Ausserordentlich schwierig, wenn nicht unmöglich, erscheint es jedoch, die Unregelmässigkeit des thatsächlichen Fahrens hierbei in allen seinen Konsequenzen zu berücksichtigen. Nun ergibt sich aber gerade aus allen einschlägigen Betrachtungen, dass der Berücksichtigung nicht etwa der mittleren Spannungsverluste, sondern derjenigen der maximalen Spannungsdifferenzen das Augenmerk zuzuwenden ist. Es ist dem Wagenführer vollkommen unbewusst, wieviel sich die mittlere Spannung von der normalen unterscheidet, jedesmal jedoch, wenn beim Anfahren oder beim Durchfahren starker Steigungen fernab von der Zentrale die Spannung in unzulässiger Weise sinkt, kommt ihm diese Thatsache zum Bewusstsein, dadurch dass der Wagen ungewöhnlich langsam geht, ganz zu schweigen von der etwaigen Ladung von Akkumulatoren für automobile Strecken, welche sich dabei leicht in Entladung umkehrt. Aber nicht nur der Wagenführer beobachtet den Spannungsabfall und hat Schwierigkeiten, den Fahrplan einzuhalten, auch die Motoren leiden darunter und die Fahrgäste werden durch das Dunkelwerden der Wagenbeleuchtung beim Einschalten und Hellaufleuchten derselben beim Ausschalten irretiert.

Wir erkennen hieraus, dass es zweifellos eine praktische Grenze gibt, über die hinaus man mit dem Spannungsverlust nicht gehen sollte, und zwar mit demjenigen, welcher bei der maximalen oder ungünstigsten Beanspruchung auftritt. Wenn nun auch der Wert desselben keine greifbare gegebene Grösse ist, so kann man doch sagen, dass ein Verlust von 10% oder etwas mehr zulässig erscheint.

Wir sind durch diese Betrachtungen in die Lage versetzt, etwa folgende Normen aufzustellen. Die Hauptzuleitungen zu den Fahrdrähten sind für einen Verlust von möglichst unter 10% zu berechnen unter der Annahme, dass jeder Speisepunkt von den übrigen durch Streckenausschalter getrennt ist, und unter der Bedingung, dass der Berechnung der Maximalstrom zu Grunde gelegt wird, welcher dem versorgten Teilgebiet entspricht.

Da wir nun auf diese Weise die Aufgabe wesentlich vereinfacht haben, dahin, dass jedesmal nur kurze Fahrstrecken zu betrachten sind, so müssen wir, um den Einfluss der von uns gemachten Annahme über den Spannungsverlust in den Zuleitungen zu prüfen, zunächst untersuchen, ob in der Fahrdrahtleitung, wie hierbei stillschweigend

vorausgesetzt, die Verluste im allgemeinen gering ausfallen, obgleich sie infolge des mangelnden Zusammenhanges sehr ungünstig beansprucht wird.

Zur Durchführung dieser Betrachtung verlassen wir den komplizierten Fall, welcher der Fig. 11 entspricht, und stellen uns vor, dass eine Fahrdrahtstrecke von einer gewissen Länge einseitig zu speisen sei. Um hierbei zu einer Beurteilung der Zahlenwerte zu gelangen, ist es erforderlich, auf die praktischen Verhältnisse zu kommen und eine bestimmte Stärke des Fahrdrahtes sowie eine bestimmte Höhe der Spannung vorauszusetzen.

Es ist wohl jetzt allgemein üblich, Fahrdrähte mit einem Querschnitt von 50 qmm zu benutzen. Ebenso kann eine Spannung von ungefähr 500 Volt zwischen Fahrdraht und Schienen als normal gelten. Unter diesen Voraussetzungen sind wir in der Lage, die Zahlenwerte für die Verluste numerisch zu verfolgen und festzusetzen, auf welche Streckenlänge eine einseitige Speisung, d. h. eine Speisung lediglich durch den Fahrdraht als zulässig zu betrachten ist. Setzen wir Bahnen von dem verschiedenartigsten Charakter voraus, so macht diese Behandlungsweise eine spezielle Berechnung im Einzelfalle erforderlich. Spezialisieren wir dagegen unsere Aufgabe dahin, dass wir einen normalen Strassenbahnverkehr uns vorstellen, so nimmt die Basis für unsere Untersuchung eine greifbare Gestalt an und lässt sich nach einheitlicheren Gesichtspunkten behandeln.

Auf allen Strassenbahnen wird in gewissen, mehr oder weniger regelmässigen Zwischenräumen gefahren. Die maximale übliche Wagenfolge ist etwa alle 5 Minuten. Denken wir uns nun gewissermassen das Resultat vorweggenommen und setzen voraus, es wäre eine Speisung der doppelgeleisigen Strecke auf eine Länge von 2,5 km einseitig zulässig, so wollen wir untersuchen, welche Spannungsverluste hierbei unter normalen Verhältnissen auftreten. Nehmen wir die durchschnittliche Geschwindigkeit $V = 10$ an, so befinden sich auf der Strecke

$$\frac{60 \,.\, 5}{V \,.\, t} = \frac{60 \,.\, 5}{10 \,.\, 5} = 6 \text{ Wagen.}$$

Beträgt der Verbrauch pro Wagenkilometer 500 Wattstunden und die Spannung 500 Volt, so ist die Stromstärke pro Wagen im Mittel

$$\frac{500 \,.\, 10}{500} = 10 \text{ Ampère}$$

und die Gesamtstromstärke im Mittel

$$6 \,.\, 10 = 60 \text{ Ampère.}$$

Nehmen wir die Wagen als ungefähr gleichmässig verteilt an, so ist der Spannungsverlust für die mittlere Stromstärke, diese als konstant vorausgesetzt, etwa

$$\frac{2500 \,.\, 30}{100 \,.\, 55} = 13{,}64 \text{ Volt,}$$

indem wir den Querschnitt der beiden Fahrdrähte zusammen = 100 und die Leitungsfähigkeit = 55 setzen.

Gegen den eben berechneten Spannungsverlust wäre nichts einzuwenden, wenn derselbe den zu betrachtenden massgebenden Wert darstellte. Wir können nun aber aus Tafel I ersehen, dass einer Wagenzahl = 6 ein Maximalstrom entspricht, der 2,2—2,45mal so gross ist als der mittlere. Selbst bei gleicher Verteilung der Stromstärken würde also der zu betrachtende Spannungsverlust über das Doppelte des oben berechneten betragen. Auch diese Annahme ist noch zu günstig; denn die Stromschwankungen verteilen sich nicht auf die einzelnen Wagen gleichmässig; vielmehr treten die hohen Stromstärken bald in der Nähe des Speisepunktes, bald aber auf dem entgegengesetzten Ende auf. Da jedoch diese Stromschwankungen von verhältnismässig geringer Dauer sind, können wir von denselben hier mehr oder weniger absehen und annehmen, dass nach unseren Betrachtungen als merkbarer Spannungsverlust ein solcher von rund $3 \,.\, 13{,}64 \backsim 40$ Volt zu rechnen ist.

Wir werden diesen Verlust, besonders da derselbe schon einem sehr dichten Verkehr entspricht, welcher vielleicht nur an Sonntagen auftritt, noch gerade in den Kauf nehmen können und demgemäss einseitige Speisung einer mit zwei Fahrdrähten ausgerüsteten Strecke auf 2,5 km Länge zulassen.

Es knüpft sich hieran die Frage, ob bei seltenerem Verkehr eine Vergrösserung dieser Streckenlänge zugelassen werden soll. In Bezug hierauf ist zu bedenken, dass mit der Abnahme der Verkehrshäufigkeit auch die Wagenzahl abnimmt. Bei Fünfzehnminutenverkehr ist die Zahl nur noch 2. Um so grösser werden die Stromschwankungen, wie ebenfalls aus Tafel I ersichtlich ist. Ein einzelner anfahrender Wagen kann 100 Ampère verbrauchen, das gäbe am Ende der Strecke $\frac{2500 \times 100}{100 \times 55} \backsim 45$ Volt Spannungsverlust, wenn auch nur vorübergehend. Aus diesem Grunde kann man es nicht als empfehlenswert bezeichnen, die einseitig gespeiste Strecke länger als 2,5 km zu wählen, auch wenn nur in grösseren Zwischenräumen gefahren wird. Es wäre auch aus dem Grunde unpraktisch, weil dann eine Verdichtung des Verkehrs auf Schwierigkeiten stossen würde.

Wir haben jetzt den Fall betrachtet, dass die Strecke zweigeleisig oder doch mit zwei Fahrdrähten versehen ist. Ist nur ein Fahrdraht vorhanden, so sei, wie wir annehmen wollen, die einseitig gespeiste Strecke 1,25 km. Unter gleichen Voraussetzungen wie oben ergibt sich die Wagenzahl $A = \frac{2,5 \cdot 60}{10 \cdot 5} = 3$ und für Fünfminutenverkehr, d. h. durchschnittlich 30 Ampère, und bei gleichmässiger Verteilung annähernd $\frac{1250 \cdot 15}{50 \cdot 55} = 6,8$ Volt mittlerer Spannungsverlust. Dieser Wert ist wegen der geringen Wagenzahl eine sehr grobe Annäherung. Bei der Anzahl von drei Wagen ist nach Tafel I der Maximalwert 3—3,2mal so gross wie der Mittelwert und aus den früher erörterten Gründen der wirksame Spannungsverlust noch etwa doppelt so gross, als dem Maximalstrom entspricht, demgemäss etwa $6,8 \cdot 3,1 \cdot 2 =$ rund 42 Volt, d. h. ungefähr ebenso gross wie im vorher betrachteten Beispiel. Es erscheint daher geeignet, die einseitig gespeiste Länge einer eindrähtigen Strecke für Fünfminutenverkehr und nach dem früher Gesagten auch bei seltenerer Wagenfolge nicht länger als 1,25 km zu wählen.

Wir ziehen aus den angestellten Betrachtungen folgende Schlüsse: Unsere Zahlenwerte waren keineswegs zu ungünstig gewählt, trotzdem aber die errechneten Verluste ziemlich hoch. Sind nun die zu speisenden Strecken länger, als den ermittelten Werten entspricht, so muss eine besondere Stromzuleitung geschaffen werden. Liegt wie in Fig. 12 die Kraftstation C an der Strecke, jedoch so, dass einseitig eine Länge der eingeleisigen Bahn von mehr als 1,25 km verbleibt, so kann man sich damit helfen, dass man nicht einen, sondern zwei Fahrdrähte zieht. Ist die einseitige Strecke länger als 2,5 km, so genügen die beiden Fahrdrähte nicht mehr, vielmehr muss in diesem Falle der Querschnitt vergrössert werden, wozu sich als einfaches Mittel die Anbringung einer Zusatzleitung auf dem Bahngestänge bietet. Dieselbe ist in kurzen Abständen, vielleicht alle 100 m, mit den Fahrdrähten zu verbinden. Ihr Querschnitt kann nach ähnlichen Grundsätzen bemessen werden, wie dieselben unseren vorstehenden Betrachtungen zu Grunde gelegt sind.

Stösst diese Anordnung auf Schwierigkeiten oder liegt die Zentrale nicht an der Bahn, so dass besondere Zuleitung zur Strecke erforderlich ist, oder handelt es sich um ein ausgedehntes Bahnnetz, wie in Fig. 11, so ergibt sich naturgemäss als zweckmässige Lösung der Aufgabe die Anwendung von Speisekabeln und einer Reihe von Speisepunkten in der aus Fig. 11 ersichtlichen Weise.

Legen wir bei dieser Anordnung in die Speisekabel einen Maximalverlust, wie oben angegeben, von 50 Volt, so beträgt der maximale wirksame Spannungsverlust ca. 90 Volt, so dass wir die angegebenen Beträge füglich als Maximalverluste, die nicht überschritten werden sollten, ansehen dürfen.

Die von den einzelnen Speisepunkten gespeisten Strecken nehmen wir als getrennt an. Die in den einzelnen Gebieten auftretenden Maximalstromstärken können wir mit Hilfe der Tafeln II, III, IV ermitteln und sind auf diese Weise in der Lage, die getrennt arbeitenden Speiseleitungen mit ihren einzelnen Maximalströmen richtig zu berechnen, wobei zu bemerken ist, dass selbstverständlich die Summe dieser Ströme grösser ausfällt, als der Maximalgesamtstrom.

Eine Vereinfachung der Berechnung ist noch möglich und zwar in folgender Weise: Wir haben den Spannungsverlust in den Speiseleitungen = 50 Volt gesetzt und eine Fahrdrahtspannung von 500 Volt vorausgesetzt. Der Querschnitt einer Speiseleitung wird in diesem Falle

$$q = \frac{L \cdot J}{50 \cdot \varkappa} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 37)$$

Setzen wir hierin $\varkappa = 60$, was zwar etwas hochgegriffen ist, aber zur Vereinfachung beiträgt, so wird

$$q = \frac{L \cdot J}{3 \cdot 1000}$$

oder, wenn wir die Länge = 1 km setzen,

$$q = \frac{1}{3} \cdot J. \quad \ldots \ldots \ldots \quad 38)$$

Nehmen wir an, die Länge der Speiseleitung wäre 1 km, so wird

$$q = \frac{J}{3}.$$

Diese einfache Beziehung gibt uns ein Mittel an die Hand, unsere früheren Kurven für die Stromstärken bei verschiedenen Wagenzahlen für den vorliegenden Zweck zu benutzen. Wir ändern lediglich den Massstab der Ordinaten, indem wir an Stelle des Wertes 300 die Zahl 100 setzen, welche dann bei der neuen Bewertung Quadratmillimeter bedeutet. Wir erhalten so die drei entsprechenden Tafeln V, VI, VII, welche uns für beliebige Wagenzahlen und bei verschiedenen Steigungsverhältnissen sowie Wagensorten den Querschnitt der Speiseleitung angeben, wenn dieselbe 1 km lang ist. Wir können die Tafeln daher in der Weise benutzen, dass wir für das Gebiet jedes Speisepunktes

die mittlere Steigung sowie die Wagenzahl feststellen. Wir entnehmen der betreffenden Tafel dann den Wert in Quadratmillimeter und haben diese für 1 km Länge geltende Zahl dann nur noch mit der Länge der Speiseleitung, gemessen in Kilometer, zu multiplizieren, um ohne weiteres ihren Querschnitt zu erhalten.

Wir haben bisher zwei Fälle ins Auge gefasst, nämlich denjenigen, welcher Fig. 11 entspricht, und bei dem die Leitungsanlage in ähnlicher Weise wie bei Lichtanlagen behandelt ist, und im Gegensatz hierzu den ganz einfachen Fall Fig. 12, in welchem der Fahrdraht

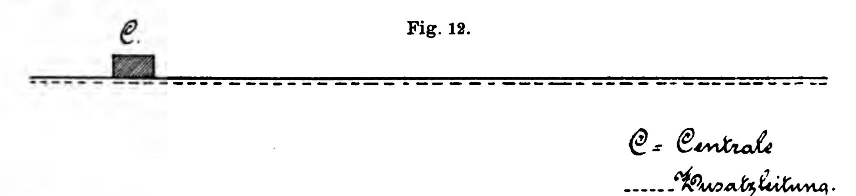


Fig. 12.

direkt gespeist wird oder höchstens noch eine verstärkende Zusatzleitung erhält. Es darf nun nicht unerwähnt bleiben, dass man bisweilen Leitungssysteme findet, welche eine von den behandelten Anordnungen abweichende Ausführung zeigen. Beispielsweise ist in Fig. 13 ein Stromzuführungsschema gegeben, bei welchem die Fahrdrahtleitung

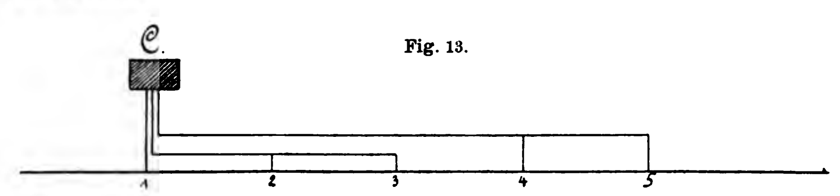


Fig. 13.

in Punkt 1 direkt an die Zentrale angeschlossen ist und ausserdem noch zwei besondere Stromzuleitungen besitzt. Diese Stromzuleitungen sind jedoch nicht in je einem Punkt an den Fahrdraht angeschlossen, sondern ausser an ihrem Endpunkt noch unterwegs einmal, so dass die in der Fig. 13 dargestellte Anordnung entsteht. Man findet nun bisweilen die Auffassung, als wenn diese Einrichtung ein System von Speiseleitungen darstelle, von denen einzelne die Strecke an mehreren Punkten speisen. So darf aber diese Einrichtung richtigerweise nicht aufgefasst werden. Als Speisepunkte sind vielmehr hier nur die Punkte 1, 2 und 4 zu betrachten und als Speiseleitungen nur die Teile der Leitungen bis zum ersten Anschluss an den Fahrdraht. Die Stücke der Leitungen 2—3 und 4—5 dagegen sind nichts weiter als Zusatzleitungen, d. h. Verstärkungsleitungen des Fahrdrahtes. Diese An-

ordnung kann aus diesem Grunde als keine sehr vollkommene betrachtet werden, vielmehr dürfen nur diejenigen in Fig. 11 und 12 Anspruch darauf erheben. Entweder es ist nur der Maximalspannungsabfall in Betracht zu ziehen, wie bei kurzen Bahnstrecken oder auch bei Bahnen mit beispielsweise nur einem Zug, dann genügt die einfache Anordnung in Fig. 12, bei der der ganze Kupferquerschnitt zweckmässig ausgenutzt wird, oder es ist notwendig, besondere Hilfsmittel heranzuziehen, um die Spannung überall innerhalb gewisser Grenzen konstant zu halten, dann erfüllt nur das vollkommene System Fig. 11 seinen Zweck.

Demgegenüber stellt Fig. 13 ein Gemisch dar, welches nicht besonders nachahmenswert erscheint. Genügt die Fahrdrahtleitung ohne besondere Zusatzleitung bei Anwendung mehrerer Speisepunkte nicht, so ist die Anzahl der Speisepunkte zu gering bemessen oder es ist notwendig, falls die Bahn eingeleisig ist, nicht einen Fahrdraht, sondern deren zwei anzuwenden, zumal da aus allgemeinen Betriebsrücksichten die zweidrähtige Fahrdrahtleitung ohne Anwendung von Weichen vorzuziehen ist, wie an anderer Stelle erörtert.

Es ist naturgemäss, dass man bei Berechnung der Speiseleitungen für sämtliche annähernd denselben Spannungsverlust zu Grunde legen wird. Hierbei wird jedoch die Rechnung für einzelne Speiseleitungen Querschnitte ergeben, welche entweder unhandlich klein sind oder, was direkt bedenklich ist, bei der zu Grunde gelegten Stromstärke eine zu hohe Beanspruchung aufweisen. Ganz besonders wird dieser Fall bei unterirdischen Speiseleitungen von geringer Länge zu fürchten sein. Man ist hierbei gezwungen, um eine Gefährdung der Kabel zu verhindern, einen grösseren Querschnitt für dieselben zu wählen als berechnet ist. Dies hat zur Folge, dass der Spannungsverlust etwas kleiner ausfällt. Um nun den Spannungsverlust in allen Kabeln nicht zu ungleich zu gestalten, kann man in die kürzeren entsprechende festangeordnete Widerstände einschalten, was unter allen Umständen von Vorteil ist. Verzichtet man hierauf, so hat der Fortfall dieser Widerstände zur Folge, dass die Lampen des Wagens heller leuchten und leiden, sobald sich derselbe dem zum kurzen Kabel gehörigen Speisepunkt nähert und ihre Leuchtkraft in unangenehmer Weise nachlässt, wenn man sich auf den von den langen Kabeln gespeisten Strecken befindet. Ausserdem werden die kurzen Kabel, sobald man den Vorschaltwiderstand fortlässt, noch stärker beansprucht und deshalb eine weitere Verstärkung derselben erforderlich.

Unter Umständen sind so erheblich entfernte Strecken mit Strom zu versorgen, dass man unter Zugrundelegung des Spannungsverlustes von 50 Volt Querschnitte erhält, deren Anwendung sehr teure Speise-

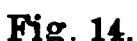
leitungen erfordern würde. In solchen Fällen erweist es sich häufig als vorteilhafter, einen geringeren Querschnitt zu verlegen, dafür aber im Werk eine Einrichtung zu schaffen, welche dazu dient, die Spannung am Anfang solcher langen Leitungen um so viel zu erhöhen, als dieselbe am Ende der Leitung stärker abfällt, weil der Querschnitt verkleinert worden ist. Arbeitet die Leitung daher mit 100 Volt Verlust, so wird man an ihrem Anfang 100 — 50 = 50 Volt zugeben. Das einfachste Mittel hierzu ist die Anwendung von Zusatzmaschinen mit Hauptstromwickelung, welche in die Leitung in der Kraftstation eingeschaltet werden und entweder von der Dampfmaschine aus oder vermittelst eines Elektromotors anzutreiben sind. Man spart bei dieser Anordnung infolge Anwendung geringerer Kupfermassen eventuell auch leichterer Masten mehr, als der verhältnismässig geringe Aufwand an Energie zur Deckung der erhöhten Verluste ausmacht. Eine Bedingung, welche bei Anwendung von Zusatzdynamos nicht zu übersehen ist, besteht darin, dass die von denselben gespeisten Strecken mit den übrigen keinen metallischen Zusammenhang haben dürfen.

Die Schienenrückleitung.

Die elektrischen Bahnen werden in ihrer äusseren Erscheinung dadurch wesentlich vereinfacht, dass man nicht für beide Pole oberirdische Leitungen zieht, sondern den einen Pol, gewöhnlich den negativen, mit den Schienen verbindet, auf welchen der Wagen läuft, indem man also, wie man sich ausdrückt, die Schienen zur Rückleitung benutzt. Der verhältnismässig grosse Querschnitt der gebräuchlichen Schienen setzt uns in die günstige Lage, in Bezug auf die Schienenrückleitung wohl stets mit dem einfachen Zuleitungssystem nach dem Schema Fig. 12 auszukommen. Wenn auch die Schienen, welche aus Stahl sind, kein so gutes Leitungsvermögen besitzen wie das Kupfer, welches sonst zu Leitungszwecken dient, so treten trotzdem nur geringe Spannungsdifferenzen in der Schienenanlage auf unter einer Voraussetzung, der nämlich, dass der metallische Zusammenhang der Schienen ein guter ist. Hierzu genügt es allerdings nicht, dass die Schienen miteinander verschraubt werden; denn selbst bei dieser Annahme sind merkliche Uebergangswiderstände an den Schienenstössen vorhanden. Man bedient sich daher zur Herstellung einer besseren Leitung von Schiene zu Schiene besonderer aus Kupfer hergestellter Schienenverbindungen, welche mit ihren Enden an den benachbarten Schienen gut leitend angebracht werden. In Fig. 14 ist eine derartige Schienenverbindung nach einem vielbenutzten Muster wiedergegeben. Dieselbe

besteht aus einem Kupferdraht von 50 qmm, welcher an seinen beiden Enden in je einen Eisenpfropfen eingenietet ist, welch letzterer in entsprechende Löcher des Schienensteges fest eingeschlagen und hierauf vernietet wird. Die ganze Schienenverbindung ist verzinnt. Der Nutzen der Anwendung des Eisenkonus besteht darin, dass an der Vereinigungsstelle desselben mit der Schiene gleiche und zwar feste Materialien

Fig. 14.



miteinander in Verbindung kommen. Besteht der Pfropfen aus Kupfer, so bilden sich an der Berührungsstelle elektrolytische Vorgänge, welche das Eisen allmählich anfressen und die innige Berührung lockern. Es besteht zwar auch bei den eisernen Pfropfen eine Berührungsstelle mit dem Kupferdraht, doch kann diese in der Fabrik, welche die Schienenverbindung liefert, sauber hergestellt werden und ausserdem ist sie durch den Zinnüberzug vor der Einwirkung der Feuchtigkeit möglichst geschützt. Thatsächlich haben sich derartige Schienenverbindungen sehr gut bewährt. An denjenigen Stellen, welche häufigen Stössen ausgesetzt und an denen viele einzelne Teile vereinigt sind, besonders also an den Weichen, empfiehlt sich die Anwendung längerer Schienenverbindungen, mit welchen man derartige Teile umgeht und überbrückt. Man verbindet in diesem Falle zwar die einzelnen Teile der Weiche durch gewöhnliche Schienenverbindungen, ausserdem aber die letzten Schienenstösse zu beiden Seiten vermittelst ähnlicher Kupferdrähte von etwa 95 qmm.

Zur höheren Sicherheit werden vielfach die Schienenverbindungen doppelt angeordnet, stets aber verbindet man nicht nur die aneinander stossenden Schienenenden, sondern auch die verschiedenen Schienenstränge miteinander, um gegen die schädlichen Einflüsse etwaiger fehlerhafter Verbindungen mehr geschützt zu sein.

In Fig. 15 ist die Anordnung einer Schienenverbindung angedeutet und zwar bei einem schweren Rillenschienenprofil (Gesellschaft für Stahlindustrie Bochum, No. 26 a). Um die Fähigkeit der Schienen, den Strom zu leiten, zu beurteilen, mag folgende Zahlenrechnung dienen. Die Länge jeder Schiene betrage 10 m. Hiervon geht in unserem Beispiel eine Länge von 0,59 m ab, es verbleibt also, wenn wir auf die Ueberleitung an den Schienenstössen selbst keine Rücksicht nehmen, pro Kilometer Geleise eine Schienenlänge von 941 m. Der Querschnitt der Schienenverbindung wird, wie wir hier einschalten wollen, verschieden gross gewählt, insbesondere findet man auch bis-

weilen dicke Kupferstäbe mit Kupfernieten. In dem von uns betrachteten Falle ist der Querschnitt 50 qmm. Die Länge der Verbindung ist 60 cm. Die Rechnung ergibt sich daher wie folgt. Gewicht der Schiene pro Meter 42 kg, spezifisches Gewicht zu ca. 8 angenommen, so folgt daraus Querschnitt der Schiene etwa

$$\frac{42000}{8} = 5250 \text{ qmm},$$

daher der Querschnitt des kompletten Geleises 105 qcm.

Nehmen wir die Leitungsfähigkeit des Eisens = 9 an, so ist der Widerstand eines Kilometer Schienengeleise, d. h. nach den obigen Erörterungen von 941 m Doppelschienen,

$$\frac{941}{9 \cdot 10500} \backsim 0{,}01 \text{ Ohm}.$$

Hierzu kommt pro 1000 m eine Anzahl von 100 Schienenverbindungen, d. h.

100 . 0,6 = 60 m Kupferdraht

von 2 . 50 = 100 qmm.

Der Widerstand des Kupfers ist

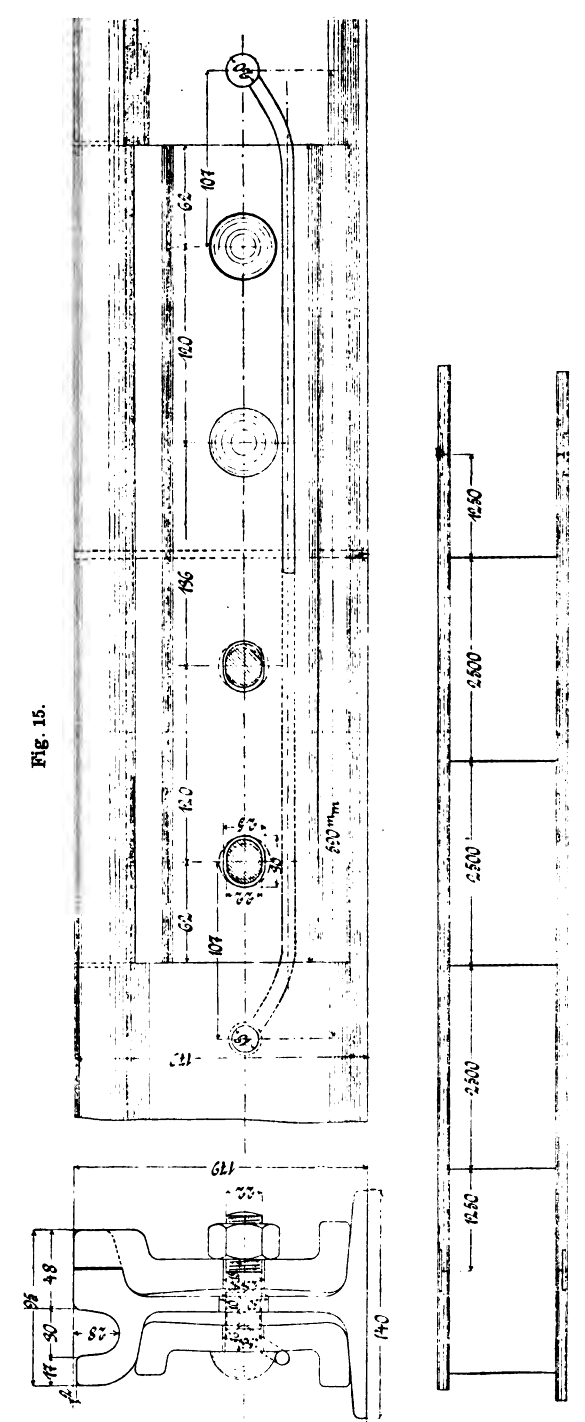


Fig. 15.

$$\frac{60}{100 \cdot 57} = 0{,}0105 \text{ Ohm},$$

d. h. zusammen pro Kilometer $0{,}01 + 0{,}0105 = 0{,}0205$ Ohm.

Hierzu käme noch der Uebergangswiderstand zwischen den eisernen Nieten und den Schienenstegen. Dafür kann man aber auch andererseits entschieden annehmen, dass die heutzutage ausserordentlich feste Vereinigung der Laschen und Schienen nicht ganz ohne Anteil an der Leitung der andauernd vorhandenen sehr starken Ströme ist. Der Widerstand wird also unter der Voraussetzung, dass diese beiden Umstände sich ungefähr ausgleichen, zu etwa dem obengenannten Wert 0,0205 zu veranschlagen sein. Wird ein derartiger Schienenstrang von 100 Ampère durchflossen, so gibt das pro Kilometer

$$100 \cdot 0{,}0205 = 2{,}05 \text{ Volt}.$$

Nur bei sehr grossen Stromstärken und erheblichen Längen ist unter diesen Umständen zu befürchten, dass der Spannungsverlust eine derartige Höhe annimmt, um die Anwendung der Schienenrückleitung nach Fig. 12 als nicht mehr hinreichend erscheinen zu lassen. Tritt ein derartiger Fall ein, so kann man die Schienenleitungsanlage nicht dadurch wesentlich verbessern, dass man blanke Kupferleitungen parallel zu den Schienen in die Erde verlegt, vielmehr würde sich als einzig sachgemässe Vervollkommnung ein Leitungssystem ergeben, das der Fig. 11 entspricht, d. h. man muss von der Zentrale C eine Reihe von gut isolierten Speisekabeln zu besonderen Speisepunkten, in denen sie an die Schienen angeschlossen werden, führen, so dass der negative Pol der Maschinen an keiner Stelle direkt, sondern nur durch Vermittelung dieser isolierten Kabel mit den Schienen in Verbindung steht. Werden die Kabel analog der oberirdischen Leitungsanlage berechnet, so kann eine derartige Spannungsgleichheit im Schienensystem erreicht werden, dass z. B. abirrende Ströme kaum auftreten. Diese Zuleitungsanlage jedoch, zu der nur gut isolierte Kabel verwendet werden dürften, würde so sehr erhebliche Kosten verursachen, dass man, wenn irgend möglich, von einer solchen Einrichtung absehen wird.

Besondere Leitungsverhältnisse.

Die auseinandergesetzten Dispositionen des Leitungsnetzes sind dann zulässig, wenn man es mit normalen Stromstärken und mit normalen Entfernungen zu thun hat, wie sie beispielsweise bei Strassenbahnen im allgemeinen vorkommen. Bisweilen treten nun Verhältnisse auf, welche zu etwas anderer Anordnung zwingen. Insbesondere

verlangen diejenigen Bahnen eine abweichende Behandlung, welche eine sehr grosse Streckenlänge besitzen, und auf denen nur wenige, aber schwere Züge verkehren.

Es ist von vornherein klar, dass die Beanspruchung bei solchen Bahnen keine Gleichmässigkeit für die ganze Strecke ergibt, vielmehr wird es notwendig sein, die prinzipielle Ausgleichung dieser Beanspruchung im speziellen zu kontrollieren, indem man sich diejenigen Zugstellungen heraussucht, welche durch das Auftreten einer besonders starken Steigung, sowie solche, die durch grosse Entfernung des Zuges von der Kraftstation charakterisiert sind. Es wird unter diesen Umständen auch notwendig sein, möglichst die gesamte Leitungsanlage für diese schwierigeren Zugpositionen auszunutzen und demgemäss in der Hauptsache eine direkte Fahrdrahtspeisung mit Zusatzleitungen zu verwenden.

Die Berechnung der Leitung für eine solche Bahn würde demgemäss hauptsächlich in der Prüfung einzelner bestimmter Stromkonstellationen bestehen, nicht aber in einer gleichmässigen Behandlung der ganzen Strecke, indem die mittlere Stromstärke hierbei noch weit weniger in Betracht kommt als beispielsweise bei Strassenbahnen.

Abgesehen von den obenerwähnten Bahnen, von denen wir vorausgesetzt haben, dass sie sich in der üblichen Weise mit Gleichstrom von ca. 500 Volt versorgen lassen, treten Fälle auf, welche durch derartig grosse Entfernungen und eventuell Leistungen gekennzeichnet sind, dass die Anwendung von Gleichstrom mit 500 Volt Spannung nicht mehr zulässig erscheint. Für solche Fälle ist bisweilen eine Dreileiteranordnung vorgeschlagen worden, bei der die Schienen den Mittelleiter und einzelne Strecken-Fahrdrahtleitungen je einen Aussenleiter bilden, doch erscheint diese Einrichtung wenig zweckmässig, vielmehr macht sich hierbei die Verwendung von Wechselstrom wünschenswert.

Es ist nun bekannt, dass der gewöhnliche einphasige Wechselstrom nicht befähigt ist, Motoren in der Weise anzutreiben, wie es die Bahnverhältnisse wünschenswert machen. Ganz besonders haben die einphasigen Wechselstrommotoren im allgemeinen nicht die Eigenschaft, sich mit voller, ja wie im Bahnbetriebe gesteigerter, Anzugskraft in Bewegung zu setzen.

Anders verhält sich in dieser Beziehung der mehrphasige Wechselstrommotor. Derselbe genügt diesen Anforderungen weit mehr als der einphasige Wechselstrommotor und kann deshalb im Bahnbetriebe Verwendung finden.

Die Disposition der Leitungsanlage für eine Bahn von den erörterten abweichenden Verhältnissen kann in verschiedener Art und

Weise vorgenommen werden. Die eine Lösung besteht darin, dass man die Energie in Form von Wechselstrom, und zwar einphasigem oder mehrphasigem, auf der Strecke fortleitet, an einzelnen Stellen Unterstationen anlegt, und in diesen durch rotierende Umformer den Wechselstrom in Gleichstrom mit beliebiger Spannung umformt und als Gleichstrom im Bahnbetriebe verwendet.

Die andere Anordnung besteht dagegen darin, dass man mehrphasigen Wechselstrom erzeugt, diesen Strom von hoher Spannung einer grösseren Anzahl an der Bahnstrecke verteilter Wechselstromtransformatoren zuführt und den auf niedrige Gebrauchsspannung umgeformten mehrphasigen Wechselstrom zum Betriebe der fahrenden Züge verwendet.

In jedem der beiden Fälle kann die Zuführung zu den Motorwagen entweder oberirdisch durch Fahrdrähte oder auch durch Niveauleitungen erfolgen, d. h. durch Leitungen, welche aus Kontaktschienen neben den Eisenbahnschienen hergestellt sind.

Wendet man Wechselstrom an, so darf man nicht vergessen, dass die Leitung durch die Eisenbahnschienen eine sehr unvollkommene ist, indem der Wechselstrom bekanntlich infolge der in dem Eisen auftretenden Induktionswirkungen in diesen Schienen einen bedeutenden scheinbaren Widerstand findet, dessen Grösse beispielsweise über das 15fache des Widerstandes bei Gleichstrom ausmachen kann.

Es ist daher notwendig oder doch wünschenswert, sobald Eisenschienen den Strom auf lange Strecken weiterleiten sollen, an denselben z. B. ein Kupferband entlang zu führen, um eine gesicherte Stromleitung zu erhalten.

Die Disposition und Berechnung der Hochspannungs-Wechselstromleitung muss, wie in dem oben angeführten Falle einer langen Gleichstrombahn, auch hier unter Berücksichtigung spezieller ungünstiger Zugstellungen erfolgen. Die Wechselstromtransformatoren sind in zweckmässigen Abständen anzubringen und so gross zu bemessen, dass sie durch die auftretenden Stromstösse einesteils nicht leiden und anderenteils nicht zu unbequemem Spannungsabfall Veranlassung geben. Selbstverständlich spielt die Phasenverschiebung hierbei eine wesentliche Rolle, weshalb sie durchaus zu berücksichtigen ist.

Da die Drehstrommotoren keine Kollektoren besitzen, so ist die Anwendung einer hohen Gebrauchsspannung mit weit geringeren Gefahren für die Betriebssicherheit verbunden, als bei Gleichstrommotoren. Da aber die Gefahr für das Personal so wie so durch sachgemässe Anordnung beseitigt werden muss, so steht der Anwendung einer höheren Betriebsspannung von z. B. 750 Volt nichts entgegen

und es empfiehlt sich, die Vorteile einer derartigen Erhöhung auszunutzen, zumal da diese Voltzahl noch zu den Mittelspannungen gehört.

Abgesehen von den eben erörterten Verhältnissen sind noch diejenigen Fälle zu behandeln, in denen zwar die Betriebsbedingungen im allgemeinen normale zu nennen sind, bei denen aber an etwas entfernten Punkten erhebliche Stromabnahme stattfindet. Hierbei kann man sich wesentlich damit helfen, dass eine Pufferbatterie aufgestellt wird, jedoch nicht, wie gewöhnlich üblich, in der Kraftstation, sondern an der Strecke selbst in der erwähnten Gegend des starken Bedarfes. Dieselbe empfängt in diesem Fall einen dauernd ungefähr gleichbleibenden Strom mit mässigem Spannungsverlust, sorgt ihrerseits für Unterstützung bei starken Stromstössen und gleicht so alle Wechsel der Belastung aus, so dass die Spannung trotz weniger günstiger Leitungsverhältnisse in annehmbaren Grenzen bleibt. Die beschriebene Anordnung ist wiederholt zur Anwendung gekommen.

Das Verbot, mit Fahrdraht zu fahren, führt bisweilen zur unterirdischen Anordnung der Zuleitung zum Wagen. Auf die Spezialkonstruktionen, welche diesem Zwecke dienen und die besonders dann brauchbar sind, wenn sie unter Ausschluss der Erde, d. h. zweipolig ausgeführt werden, soll hier nicht im besonderen eingegangen, vielmehr nur kurz hingewiesen werden.

Die Eigenschaften der Motoren und die Betriebsbedingungen für dieselben.

Wenn man sich ein Bild davon machen will, unter welchen Bedingungen die Bahnmotoren zu arbeiten haben, so ist es zweckmässig, sich zu vergegenwärtigen, welchen Fortschritt die Technik in Bezug auf die Hilfsmittel zur Bewegung von Fahrzeugen überhaupt gemacht hat.

Ich habe gelegentlich eines Vortrages (Elektrotechnische Zeitschrift 1895, 11, S. 168) im Dresdener Elektrotechnischen Verein im Jahre 1895 darauf hingewiesen, in wie ungleichem Grade die verschiedenen Arten von Bewegungsmitteln in Bezug auf die eigenartigen Anforderungen des Bahnbetriebes sich eignen.

Die von den Strassenbahnen seiner Zeit von mir entwickelten Grundsätze gelten mehr oder weniger für alle Arten von Bahnen, so dass wir behufs Beurteilung dieser Grundbedingungen uns das damals von mir Gesagte vergegenwärtigen können.

Das charakteristischste Merkmal jeder Bahnanlage, speziell der

Strassenbahnen, ist der Umstand, dass der Betrieb starke und fortwährende Veränderungen der Zugkraft mit sich bringt, denen sich das zur Bewegung dienende Mittel anpassen muss. Bald erfordern starke Steigungen eine Erhöhung der Zugkraft, dann tritt eine Verminderung ein infolge horizontalen Verlaufes, es fällt die Strecke, so dass keine Zugkraft erforderlich ist oder sogar gebremst werden muss, bald wieder wird gehalten und darauf muss angefahren werden, kurz, die Beanspruchung der fortbewegenden Kraft wechselt sehr häufig und in sehr weiten Grenzen.

Beim Anfahren ist eine ganz wesentliche Steigerung der Zugkraft notwendig, vielleicht auf das 4—5fache gegenüber derjenigen auf horizontaler Strecke, und demgemäss sind vor allen Dingen Motoren erforderlich, welche eine grosse Kraftentwickelung im Anzug ermöglichen.

Ziehen wir also den Entwickelungsgang der Bewegungsmittel für Strassenbahnen zu Rate, so finden wir, dass die alte Fortbewegungsmethode mit Pferden prinzipiell nicht die schlechteste ist, denn das Pferd hat die Eigenschaft, gerade bei stark wechselnder Beanspruchung seine grösste Leistungsfähigkeit zu entfalten. So sehr es ein Pferd anstrengt, wenn es fortwährend im Trabe eine Last ziehen soll, so wenig macht es im Verhältnis für dasselbe aus, dass es zeitweise, gerade beim Anziehen, eine grosse Zugkraft ausüben muss, wenn nur darauf wieder Zeiten geringerer Beanspruchung folgen. Das Pferd ist also in hohem Masse anpassungsfähig und kann uns als Typus eines sehr zweckmässigen Strassenbahnfortbewegungsmittels dienen.

Wir können aus den Eigenschaften des Pferdes Nutzen ziehen, wenn wir dieselben vergleichsweise mit den Eigenschaften der später zu behandelnden Motoren in Parallele bringen.

Der Grund, weshalb die Pferde so schnell im Strassenbahnbetriebe von der Bildfläche verschwinden, liegt in gewissen nachteiligen Eigenschaften derselben, die wir uns gleich vergegenwärtigen wollen.

Wenn wir gesagt haben, die wechselnde Beanspruchung lässt das Pferd besonders leistungsfähig erscheinen, so dürfen wir nicht vergessen, dass dasselbe nur eine beschränkte Zeit lang Dienst thun kann, und dass daher z. B. eine über die ganze Tagesdienstleistung sich erstreckende Ausnutzung desselben unmöglich ist. Diese sehr nachteiligen Eigenschaften, infolge deren die Pferde aus dem Felde geschlagen worden sind, müssen wir demgemäss bei den Motoren zu vermeiden suchen.

Der weitere Vergleich mit anderen Fortbewegungsmitteln, als Dampfmaschinen, Gasmotoren und ähnlichen Einrichtungen, zeigt uns

wesentliche Nachteile bei diesen. Die genannten Motoren kranken hauptsächlich an dem Uebelstande, dass sie nur für eine dauernd ungefähr gleichartige, nicht aber für eine stark wechselnde Beanspruchung geeignet sind, und dass eine namhafte Steigerung ihrer Leistung über die normale Höhe hinaus ganz unmöglich ist. Man muss schon zu sehr umständlichen und unpraktischen Einrichtungen greifen, wie Wechsel des Uebersetzungsverhältnisses u. dergl. mehr, wenn man derartige Motoren zum Bahnbetriebe verwenden und sie für das Anfahren und Ueberwinden von Steigungen geeignet machen will. Es liegt das einfach darin, dass die Dimension des Cylinders und der sonstigen Teile dieser Maschinen nur für eine bestimmte Leistung gut geeignet ist und der sich innerhalb des Cylinders abspielende Arbeitsprozess sich nicht in das Vielfache hinaus steigern lässt.

Man kann eben die Füllung bei Dampfmaschinen und Gasmotoren nur bis zu einem gewissen Grade in ökonomischer Weise steigern, auch hat der Verbrauch keineswegs eine proportionale Vermehrung der Leistung zur Folge.

Es ist eine allgemein bekannte Eigenschaft der Elektromotoren, dass sie infolge ihres hohen Wirkungsgrades nicht nur bei normaler Belastung, sondern auch bei geringerer Beanspruchung befähigt sind, selbst dann ökonomisch zu arbeiten, wenn nicht immer die volle Beanspruchung, also die Normalleistung erzielt wird. Es steht daher nichts im Wege, die Elektromotoren für Bahnen in ihrer Leistung verhältnismässig reichlich zu wählen.

Ferner aber sind die Grenzen für eine erhöhte Beanspruchung, also für die maximale Leistung der Elektromotoren keineswegs eng gezogen, im Gegenteil lassen sich alle Elektromotoren zeitweise sehr viel stärker als normal beanspruchen. Dies führt unter anderem praktisch dazu, dass man für Motoren mit geringer Normalleistung Bleisicherungen anwenden muss, welche erst bei sehr erheblichen Ueberlastungen des Motors schmelzen.

Es ist nun bekannt, dass die verschiedenen Wickelungsarten bei den Elektromotoren besondere Eigenschaften derselben zur Folge haben. Das Verhalten eines Nebenschlussmotors ist ein anderes als das eines Hauptstrommotors. Noch grössere und mannigfaltigere Unterschiede finden wir zwischen den Gleichstrommotoren einerseits und dem Wechselstrom- bezw. Drehstrommotor andererseits.

Betreiben wir einen Nebenschluss-Gleichstrommotor bei gegebener Spannung mit verschiedenen Leistungen, d. h. mit verschiedener Last bezw. Pferdestärkenzahl, so behält dieser Motor trotz des Wechsels der Belastung stets ungefähr gleiche Tourenzahl bei.

Werden nun solche Motoren in einem Strassenbahnwagen verwendet, so wird demnach der Wagen horizontale und ansteigende Strecken mit ungefähr gleicher Geschwindigkeit durchfahren und bei steigender Zugkraft einen proportional steigenden Verbrauch an Energie zeigen.

Anders bei dem Hauptstrommotor. Derselbe ist bekanntlich dadurch charakterisiert, dass seine Tourenzahl sich bei jeder Aenderung der Last ebenfalls ändert; muss er mehr ziehen, so lässt er an Geschwindigkeit nach, und ist die Last geringer, so läuft er schneller. Diese Eigenschaft verdankt er im Gegensatz zum Nebenschlussmotor, welcher unter allen Betriebsverhältnissen ungefähr konstant arbeitet, dem Einfluss der aufgewendeten Stromstärke auf das Magnetfeld selbst.

Der bei wachsender Last zunehmende Arbeitsstrom steigert gleichzeitig das Magnetfeld und verlangsamt damit den Gang des Motors.

Wenn auch naturgemäss die Steigerung des Magnetfeldes eine gewisse Begrenzung in der nicht vollkommen nachgiebigen Aufnahmefähigkeit des verwendeten Eisens findet, so kommt doch diese Eigenschaft des Hauptstrommotors in weitesten Grenzen im Strassenbahnbetrieb zur Geltung und bietet für denselben den wesentlichen Vorteil, dass bei steigender Zugkraft die Beanspruchung des Motors und der Zentrale an Stromstärke und demgemäss an Pferdestärkenzahl nicht proportional wächst. Gleichzeitig wird aber der Motor durch diese Eigenschaften besonders zum Anfahren befähigt. Während beim Nebenschlussmotor die Stromstärke für die mehrfach gesteigerte Zugkraft des Anfahrens nicht nur proportional wächst, sondern sogar wegen des schwächenden Einflusses der Ankerrückwirkung auf das Magnetfeld noch stärker zunehmen muss, erleidet der Hauptstrommotor wie bei dem eben erörterten Durchfahren von Steigungen, so ebenfalls ganz besonders beim Anfahren eine keineswegs proportional gesteigerte Beanspruchung und muss daher auch in dieser Beziehung als hervorragend geeignet bezeichnet werden. Sehr willkommen ist hierbei, dass die Funkenbildung am Kollektor bei Hauptstromwickelung weit leichter vermieden werden kann, als bei Nebenschlusswickelung, da die Ampèrewindungszahl auf den Magneten gleichzeitig mit der Steigerung der Ankerrückwirkung zunimmt.

Im übrigen muss bemerkt werden, dass auch bei dem Hauptstrommotor Einrichtungen möglich sind, um das Magnetfeld weniger stark werden zu lassen, bezw. dasselbe zu schwächen. Sobald man nämlich den durch die Magnetwickelung fliessenden Hauptstrom auf Nebenwegen an demselben vorbeileitet, ist man im stande, die magnetisierende Wirkung des Betriebsstroms von den Magneten fern zu

halten bezw. dieselbe zu vermindern. Man ist dadurch in der Lage, die von selbst eintretende Steigerung der Zugkraft beim Anfahren und bei eintretenden Erschwernissen in der Fortbewegung sich zu nutze zu machen und trotzdem nach Belieben die Geschwindigkeit zu steigern. Die Folge der genannten günstigen Eigenschaften der Hauptstrommotoren ist die, dass dieselben im Bahnbetriebe fast ausschliesslich Anwendung finden und nur da, wo Stromwiedergewinnung beabsichtigt wurde, Nebenschlussmotoren bisweilen benutzt worden sind. Aber auch dieser scheinbare Vorteil der Nebenschlusswickelung schwindet, wenn man, wie an anderer Stelle gezeigt, den gerade im bergigen Terrain wertvollen Hauptstrommotor in geeigneter Weise schaltet und betreibt.

Von den Wechselstrommotoren können im Bahnbetriebe die einphasigen kaum in Frage kommen und nur die mehrphasigen sind in neuerer Zeit bisweilen mit den Gleichstrommotoren in gewissem Grade in Konkurrenz getreten.

Da den Einphasenwechselstrommotoren die Fähigkeit eines starken Anziehens vollkommen abgeht, diese Fähigkeit aber, wie erörtert, die Grundbedingung bildet, so können nur die Drehstrommotoren, welche mit Last anlaufen und eventuell eine über ihre Normalleistung wesentlich hinausgehende Zugkraft entwickeln können, ernstlich in Frage kommen.

In gewissem Sinne stehen die Drehstrommotoren bezüglich ihrer Eigenschaften zwischen den Nebenschluss- und den Hauptstrommotoren des Gleichstrombetriebes, insofern nämlich, als sie naturgemäss bei allen Beanspruchungen mit einer bestimmten Tourenzahl laufen und eine Veränderung ihrer Geschwindigkeit nicht möglich ist, es sei denn durch besondere Hilfsmittel, die in der Umschaltung der Wickelung u. dergl. bestehen.

Die Drehstrommotoren sind jedoch aus dem letztgenannten Grunde und weil ihre Rückwirkung auf die Zentrale infolge der Einflüsse der Phasenverschiebung sehr erheblich ist, ungefähr auf die gleiche Stufe mit den Nebenschluss-Gleichstrommotoren zu stellen und stehen von den Hauptstrommotoren weit mehr ab.

Es kommt in dieser Beziehung noch hinzu, dass beim Anlassen derselben sehr bedeutende Stromstärken entstehen, welche nicht prinzipiell in der Proportionalität hinter der Zugkraft zurückbleiben.

Die Drehstrommotoren erscheinen daher für solche Bahnen wenig geeignet, auf welchen die Geschwindigkeit fortwährend geändert werden muss, d. h. beispielsweise Strassenbahnen in Städten und solche mit eingeleisiger Trace und Ausweichen.

Eher können dieselben Verwendung finden auf ebenen Bahnen, die den Charakter einer Eisenbahn tragen, die geringe Steigungen aufweisen und die ein Befahren der ganzen Strecke mit wenigem Anhalten und konstanter Geschwindigkeit von Anfang bis zu Ende gestatten.

Praktische Ausführung.

Disposition der Maschinenanlage.

Zum Betriebe von elektrischen Bahnen werden fast immer Dampfmaschinen verwendet, mit Ausnahme z. B. der Fälle, in denen eine ausreichende Wasserkraft zur Verfügung steht. Man wird von derselben gerne Gebrauch machen, da sie den Vorteil bietet, dass man keinen wesentlichen Aufwand an Kosten zum Betriebe hat, ausser denjenigen natürlich für Amortisation und Verzinsung, Unterhaltung und Bedienung. Allerdings ersehen wir hieraus gleichzeitig, dass die Verwendung der Wasserkraft auch nur dann Nutzen gewährt, wenn dieselbe neben absoluter Zuverlässigkeit billig ist, und der Ausbau und die Verwertung derselben nicht so grosse Kosten verursacht, dass dadurch der Aufwand an Heizmaterial wieder ausgeglichen wird.

Bezüglich der Dampfmaschinen sind wesentlich zu unterscheiden diejenigen mit Kondensation einerseits und Auspuffmaschinen andererseits.

Man kann im Bahnbetriebe fast allgemein als Grundsatz aussprechen, dass die Verwendung der Auspuffmaschinen unrationell ist, denn einmal werden für Bahnen fast nur Maschinen grösserer Leistung verwendet, und ferner ist die Betriebszeit der Maschinen immer eine sehr grosse, so dass der Dampfverbrauch und somit auch der Verbrauch an Heizmaterial eine hervorragende Rolle spielt.

Die Bahnanlagen unterscheiden sich in dieser Beziehung wesentlich von elektrischen Lichtanlagen, welche häufig ziemlich geringe Maschinengrössen und eine eingeschränkte Betriebszeit aufweisen.

Man kann beispielsweise sagen, dass Maschinenaggregate von weniger als 100 PS Maximalleistung kaum zur Verwendung gelangen, und dass die Maschinen täglich 15—20 Stunden laufen.

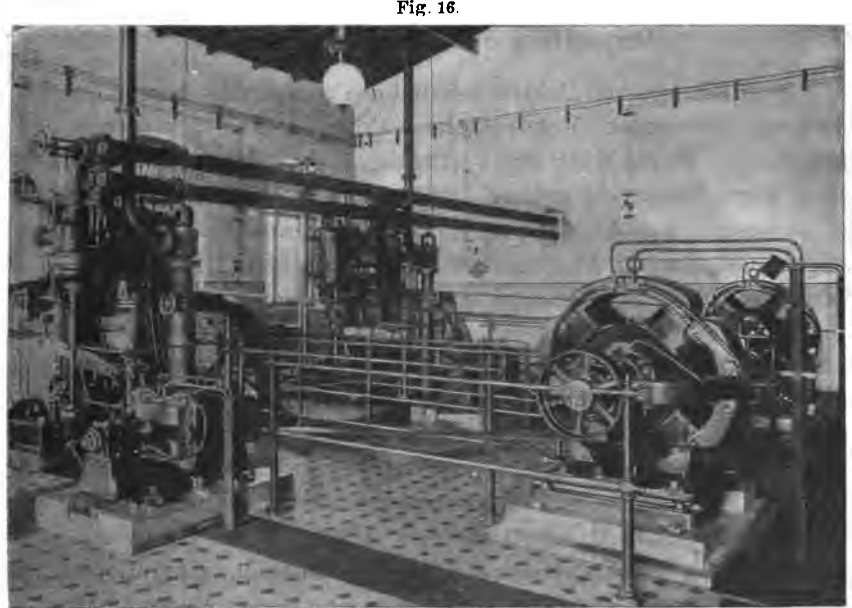
Aus diesen Thatsachen ergibt sich die Notwendigkeit, ökonomisch arbeitende Dampfmaschinen zu verwenden. Es sind daher auch fast nur Dampfmaschinen mit mehrfacher Expansion in Betracht zu ziehen.

Die gewöhnliche Anordnung einer Bahnmaschine ist nach dem Gesagten diejenige mit zweifacher Expansion und Kondensation. Bei sehr grossen Leistungen kommt eventuell dreifache Expansion in Frage, doch besitzt dieselbe den Nachteil, dass die Dampfmaschinen weniger gut regulieren, und dass man zu hoher Dampfspannung gezwungen ist.

Ausserdem sind die Dreifach-Expansionsmaschinen weniger einfach und teurer, so dass dieselben nicht häufig anzutreffen sind.

Sehr gebräuchlich ist bei Verwendung stärkerer Maschinen die direkte Kuppelung der Dynamos. Dieselbe hat den Vorteil, dass die

Fig. 16.



Maschinen wenig Raum beanspruchen, und dass die ganze Anlage wegen des Fortfalles des Riemens einen sehr ruhigen und bequemen Betrieb sichert.

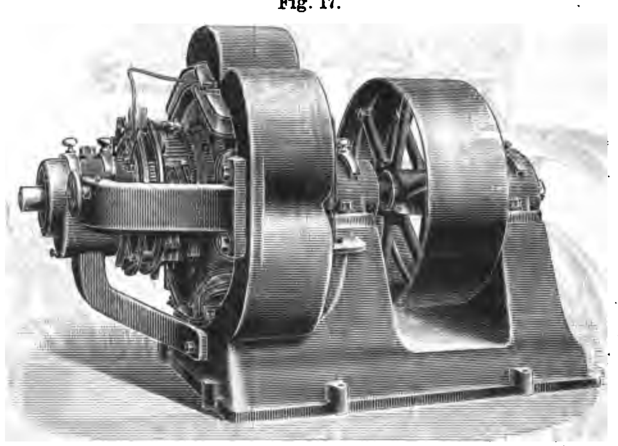
Ein gewisser Nachteil besteht darin, dass die Dampfmaschinen, welche naturgemäss langsam laufen, und die Dynamomaschinen, welche relativ schnell laufen sollen, in Bezug auf die Tourenzahl einander genähert werden müssen, um eine für beide Teile anwendbare mittlere Tourenzahl zum Zweck direkter Kuppelung zu erhalten.

Will man den Nachteil einer etwas höheren Tourenzahl der Dampfmaschine und eines grösseren und teureren Dynamomodelles, welcher durch die direkte Kuppelung verursacht wird, vermeiden, so

muss man zum Riemenantrieb greifen. Derselbe lässt in der Wahl der Tourenzahl der Dampfmaschine freie Hand und gestattet die Anwendung möglichst kleiner, ökonomisch arbeitender und billiger Dynamomaschinen. Bei nicht sehr erheblichen Leistungen lässt sich gegen denselben auch nichts einwenden, besonders bei Verwendung von liegenden Maschinen und Leistungen von 100—200 PS findet derselbe noch häufig Anwendung. Eine Zentrale mit kleiner Leistung und Riemenbetrieb ist in Fig. 16 dargestellt, eine derartige Riemendynamo in Fig. 17.

Während man bei stehenden Maschinen gewöhnlich nebeneinander angeordnete Cylinder anwendet, ist bei liegenden Maschinen die Tandemanordnung, d. h. mit hintereinander liegenden Cylindern sehr beliebt.

Fig. 17.



Wählt man diese Tandemmaschinen, wie z. B. bei Riemenbetrieb von geringer Tourenzahl (unter 100 Touren), so hat man die Möglichkeit der Verwendung von sogen. Präzisionssteuerungen und kann auf diese Weise eine hohe Oekonomie und Betriebssicherheit erreichen. Allerdings ist in neuerer Zeit auch in dieser Beziehung ein Fortschritt insofern zu verzeichnen, als die „neue“ Collmann-Steuerung, welche von der Dampfschiff- und Maschinenbauanstalt der O. N. W.-Dampfschiffahrtsgesellschaft Dresden ausgeführt wird, es ermöglicht auch bei höheren Tourenzahlen, sowohl liegende als auch stehende Maschinen mit Ventilsteuerung auszurüsten und dabei betriebssicher zu arbeiten.

Der Umstand, dass die direkte Kuppelung von stehenden Dampfmaschinen mit den Dynamos ganz besonders zweckmässig ist, hat Veranlassung zu gewissen Spezialkonstruktionen gegeben, den sogen. Dampfdynamos, wie eine solche beispielsweise in Fig. 18 abgebildet

ist, welche eine Dampfdynamo der Firma Aktiengesellschaft Elektrizitätswerke (vormals O. L. Kummer & Co.) wiedergibt. Das abgebildete Modell besitzt eine Leistung von maximal 125 PS.

Gewisse Einzelheiten bedürfen noch der Erwähnung.

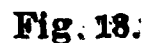


Fig. 18.

Die elektrischen Bahnen sind ganz besonders der Blitzgefahr ausgesetzt. Es ist daher mehr hier als anderswo wünschenswert, dass für gute Isolation der Dynamos gesorgt wird, damit der Blitz weniger Veranlassung hat, die Isolation der Wickelung zu durchschlagen. Man wendet dabei mit Vorteil bei direkt gekuppelten Maschinen eine

isolierende Kuppelung an, Fig. 86 und 87, durch welche gleichzeitig für den gewöhnlichen Bahnbetrieb eine hohe Sicherung der Isolation erreicht wird (Konstruktion der Aktiengesellschaft Elektrizitätswerke vormals O. L. Kummer & Co.).

Die Dynamomaschinen bringt man wenn möglich auf derjenigen Seite der Dampfmaschine an, welche das Schwungrad trägt, um einen möglichst gleichförmigen Gang zu gewährleisten.

Liegt das Schwungrad dagegen aus konstruktiven Rücksichten auf der entgegengesetzten Seite der Dampfmaschine, so ist es erforderlich, die Wellen kräftig zu nehmen, und zweckmässig, das Schwungrad nicht zu schwer zu wählen, damit nicht störende, durch Torsion bedingte Bewegungen der Welle eintreten.

Auf gute Regulierung der Dampfmaschine ist ganz besonderer Wert zu legen, denn die Anforderungen des Bahnbetriebes sind ungewöhnlich hohe.

Bewährt hat sich bei den Dampfdynamos mittlerer Tourenzahl die Verwendung von Schwungradregulatoren, wie solche beispielsweise bei der in Fig. 18 dargestellten Dampfdynamo Verwendung gefunden haben. (D. R. P.)

Das Hauptgewicht ist bei den Regulatoren darauf zu legen, dass dieselben schnell funktionieren und demgemäss genügend Energie besitzen. Weniger wichtig ist das Vorhandensein einer guten Regulierung, sobald genügend grosse Pufferbatterien verwendet werden; doch gilt in dieser Beziehung das bei der Erörterung dieser Batterien Bemerkte.

Ein gewisses Augenmerk ist auf eine entsprechende Einteilung der Maschinenanlage zu richten.

Um hierbei rationell zu verfahren, muss man zwischen den verschiedenen Betriebsperioden, die sich bei fast jeder Bahn abspielen, unterscheiden.

Die meisten Strassenbahnen zeigen ungefähr folgenden Betriebsverlauf:

Die Fahrten beginnen morgens um 6 oder 7 Uhr etc. mit verhältnismässig geringem Verkehr, an dem hauptsächlich diejenigen Leute beteiligt sind, welche an die geschäftliche Thätigkeit herangehen, hierauf nimmt der Verkehr bis gegen Mittag erheblich zu, in den Nachmittagsstunden wächst derselbe dann sehr bedeutend und hält sich eventuell auf der Höhe einige Zeit, um gegen Abend wieder nachzulassen und etwa abends um 10, 11 oder 12 Uhr allmählich zu enden. Bei vielen Bahnen drückt sich dieses Verhältnis im Fahrplan dadurch aus, dass in den Nachmittagsstunden eine häufigere Wagenfolge statt-

findet, die selbstverständlich eine stärkere Inanspruchnahme der Zentrale zur Folge hat. Aber auch da, wo ein solcher greifbarer Einfluss auf den Fahrplan nicht vorhanden ist, findet eine stärkere Inanspruchnahme in diesen Stunden gewöhnlich dadurch statt, dass den Motorwagen, welche den übrigen Teil des Tages für sich allein verkehren, in den besagten Stunden Anhängewagen beigegeben werden. In allen Fällen ist das Gewicht der zu befördernden Personen von gewissem Einfluss, wenn dasselbe auch gegenüber den sonst ohnehin in Betracht kommenden Gewichten wenig in die Wage fällt.

Abgesehen von diesen mehr regelmässigen Aenderungen, welche sich jeden Tag abspielen, macht sich häufig diejenige Fahrtenvermehrung in hohem Masse geltend, welche infolge besonderer Veranstaltungen, Feste, Theater, Konzerte, Volksvergnügungen etc. erforderlich wird. Dieser Umstand bedingt, dass an einzelnen Tagen eine ganz besonders erhöhte Inanspruchnahme der Kraftstation zu beobachten ist.

Die angegebenen Verhältnisse lassen es bei der Disposition der Maschinenanlage notwendig erscheinen, eine Abstufung in der disponiblen Maschinenkraft zu ermöglichen.

Man wird daher danach trachten, mehrere Betriebsmaschinen aufzustellen, von welchen je nach Bedarf eine oder mehrere in Betrieb genommen werden. Als Grundsatz dürfte hiernach zu betrachten sein, dass zu Zeiten der maximalen Belastung noch eine, wenn auch vielleicht kleine Reserve vorhanden ist; man wird also beispielsweise eine Dampfdynamo mehr aufstellen, als dem normalen Betrieb entspricht.

Für aussergewöhnliche Fälle aber und solche, die nur selten eintreten, dürfte es unökonomisch erscheinen, besondere Reserven zu halten, man wird vielmehr aus Rücksicht auf die seltene Wiederkehr sich eventuell damit begnügen, sämtliches Maschinenmaterial in Anspruch zu nehmen, zumal da man sich im allgemeinen auf diese aussergewöhnlichen Betriebsperioden vorbereiten und für ihre kurze Dauer eine ganz besonders erhöhte Betriebssicherheit wird herbeiführen können.

Hat man es mit reinem Maschinenbetrieb zu thun, so ist es klar, dass auf die Maximalmomentanströme in Verbindung mit den Maximalleistungen der Kraftmaschinen Rücksicht zu nehmen ist, etwa wie in früheren Kapiteln gezeigt. Im Mittel wird dann diese Maschine, wie erörtert, schwache Belastung zeigen. Es erscheint unter diesen Verhältnissen zulässig, die Dynamomaschine zeitweilig über die normale Belastung hinaus zu beanspruchen.

Im Gegensatz hierzu liegen die Verhältnisse bei Verwendung von Pufferbatterien insofern etwas anders, als man bei den Kraftmaschinen mit einer ungefähr gleichbleibenden Dauerbelastung zu rechnen hat,

die nur durch die Zu- und Abnahme des Wagenverkehrs eine Aenderung erfährt. Selbstverständlich ist auch hier entsprechend den verschiedenen Betriebsphasen das Hinzunehmen von Kraftmaschinen wünschenswert oder erforderlich. Ein Unterschied liegt jedoch darin, dass man mit Dauerbelastungen zu rechnen hat, und eine Ueberschreitung der normalen Belastung der Dynamos nicht angängig oder doch nicht zweckmässig ist, während für die Kraftmaschinen, z. B. Dampfmaschinen, im allgemeinen die Verhältnisse so liegen, dass durchschnittlich eine Belastung mit der sogen. Normalleistung, d. h. der ökonomischen Füllung, angestrebt werden muss, aber nichts im Wege steht, die Dampfmaschine zeitweise auch in längerer Dauer maximal zu beanspruchen.

Will man diese Eigenschaft der Dampfdynamos ausnutzen, so muss man die Dynamos in ihrer normalen Leistung, entsprechend der maximalen Leistung der Dampfmaschinen wählen. Das Aggregat hat in diesem Falle die günstigste Ausnutzung dann, wenn die Dampfmaschine etwas mehr als die normale Pferdestärkenzahl zu leisten hat, und eine regelrechte Betriebsführung ist selbst bei Verwendung einer einzigen Dampfdynamo in gewissem Grade möglich.

Verbindet man diese Eigenschaft mit der früher erörterten Bedingung, die Anzahl der Betriebsmaschinen variieren zu können, so hat man grosse Dehnbarkeit der Leistung in der Kraftstation gesichert und demgemäss einen sehr anpassungsfähigen Betrieb.

Nicht ganz so einfach wie bei Strassenbahnzentralen liegen die Verhältnisse bei denjenigen Bahnen, auf denen täglich nur wenige Züge in grossen Zwischenräumen verkehren, ganz besonders, wenn einzelne dieser Züge schwere Güterzüge sind. Verfügt man in diesem Falle nicht etwa über Wasserkraft, bei welcher jede Unterteilung aus Rücksicht auf Oekonomie zwecklos ist, so muss man danach trachten, ein nicht zu grosses Maschinenaggregat zu verwenden und durch Zuhilfenahme einer grossen Pufferbatterie die verschiedenen Betriebsphasen zu überwinden.

Wird die Bahn mit Wechselstrom betrieben und zwar unter direkter Verwendung von Drehstrom, so ist dieselbe natürlich in gleicher Weise wie eine Gleichstrombahn ohne Pufferbatterie zu behandeln, nur mit dem Unterschiede, dass unter keinen Umständen kleine Maschinenaggregate gewählt werden sollen, da der Drehstrombetrieb ganz besonders erhebliche Rückwirkungen auf die Zentrale ausübt und demgemäss grosse Betriebsmaschinen durchaus wünschenswert sind. Sehr zu empfehlen ist in diesem Falle die Verwendung selbstthätiger Spannungsregulatoren im Elektrizitätswerk.

Einen wesentlichen Vorteil kann man in der neuerdings häufig

durchgeführten Vereinigung von Licht- und Bahnzentralen erblicken, besonders wenn die Lichtanlage mit Mittelspannung ausgeführt wird. Man erhält auf diese Weise nicht nur eine zweckmässige gegenseitige Ergänzung, sondern kann auch die Dampfmaschinenreserve gemeinsam benutzen und so an Anlagekapital sparen, wozu die gemeinsame Anordnung der Kessel etc. ohnehin verhilft. Bei Wechselstromwerken kann durch Vermittelung eines rotierenden Umformers die Bahn mit Strom versorgt und so unter Umständen die Leerlaufsarbeit der zweiten Dampfdynamo für Bahnbetrieb gespart werden.

Kessel- und Rohrleitungen.

Aehnliche Ueberlegungen, wie bei den Kraftmaschinen, sind auch bei der etwa erforderlichen Kesselanlage für Bahnzentralen erforderlich, man muss, mit anderen Worten, anstreben, mehrere Aggregate zu besitzen, damit man in der Lage ist, bei gesteigertem Verkehr eine grössere Anzahl Kessel in Betrieb zu nehmen als gewöhnlich. In diesem Bestreben wird man dadurch wesentlich unterstützt, dass man infolge der Maximalgrösse, in welcher man Kessel noch ausführt, bei grösseren Kraftstationen unbedingt dazu gewungen ist, ohnehin eine vielleicht noch grössere Anzahl Dampfkessel zu verwenden, als die Bedingungen der Abstufungsfähigkeit direkt erfordern.

Da die Kesselanlage in einer Strassenbahnzentrale einen ziemlich angestrengten langandauernden Betrieb durchzumachen hat, so ist das Streben auf Verwendung solcher Kesselsysteme, gerichtet, welche sich durch grosse Dauerhaftigkeit und Einfachheit auszeichnen.

In dieser Beziehung werden die sogen. Cornwall-Kessel vielfach bevorzugt. Dieselben besitzen grosse Blechstärken und zeichnen sich durch ökonomischen Betrieb und hohe Leistungsfähigkeit aus, auch lassen sich dieselben ziemlich leicht von Kesselstein reinigen.

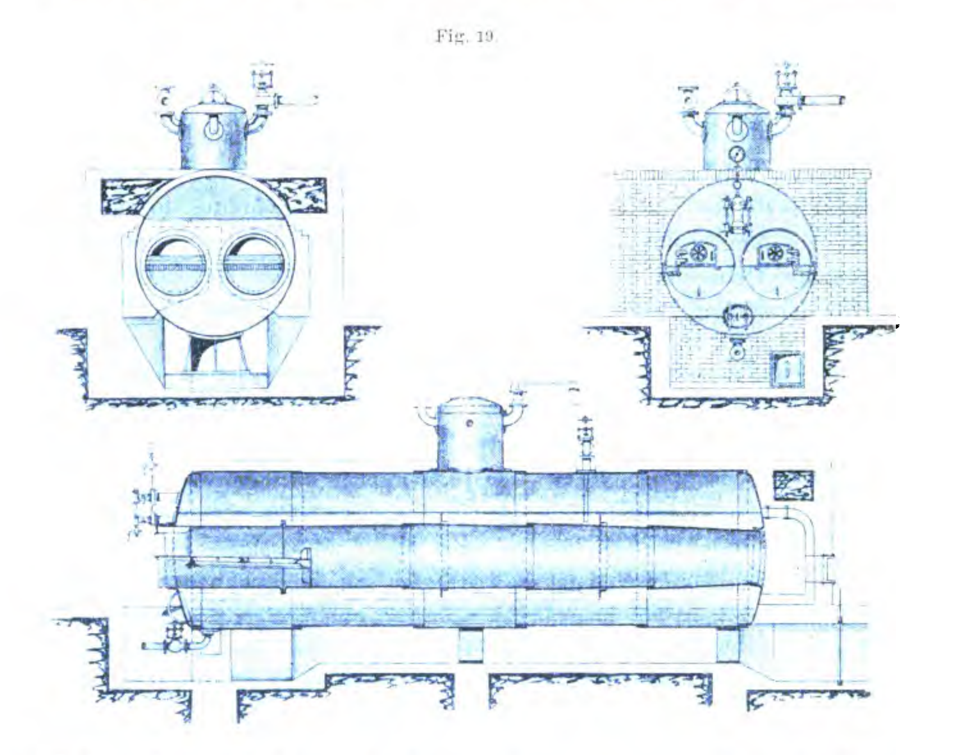
Willkommen ist der Umstand, dass dieselben bei mässiger oder mittlerer Beanspruchung mit etwa 12—15 kg Dampf pro Quadratmeter Heizfläche eine zweckmässige Ausnutzung des Brennmaterials ergeben und verhältnismässig leicht eine Steigerung dieser Leistung bis über 20, sogar über 30 kg Dampf pro Quadratmeter Heizfläche und Stunde ermöglichen. Es ist dies aus dem Grunde von Nutzen, weil im Laufe eines Tages die Anzahl der im Betriebe befindlichen Kessel nicht gut geändert werden kann, weil das Anheizen mit zu grossen Verlusten und Unbequemlichkeiten verknüpft ist.

Es kommen bekanntlich Cornwall-Kessel mit einem oder mehreren Feuerrohren zur Verwendung, welch letztgenannte entweder glatt, ge-

wellt oder aus einzelnen gleichartigen oder ungleichartigen Schüssen zusammengesetzt sind. Bisweilen werden ausserdem noch Galloway-Röhren verwendet. Einen Kessel der genannten Ausführungsart (Cornwall-Kessel), stammend aus der Fabrik von Carl Sulzberger & Co. in Flöha, stellt Fig. 19 dar.

Abweichend von diesem Kesselsystem und mit anderen Eigenschaften ausgestattet sind die sogen. Wasserrohrkessel, als deren Hauptvorzug wohl derjenige gelten kann, dass dieselben leicht in einzelne

Fig. 19.



Teile zerlegt und demgemäss bequem transportiert, auch in einzelnen Teilen repariert bezw. ersetzt werden können, was insbesondere bei überseeischen und anderen Auslandsgeschäften von Wert ist. Auch ist, im Gegensatz zu den Cornwall-Kesseln, die Grösse der Heizfläche, sowie der Dampfdruck, für den sie hergestellt werden können, nach obenhin weniger eingeengt.

Die Grenzen, in welchen die Wasserrohrkessel zweckmässig beansprucht werden können, liegen näher zusammen. Die Verwendung derselben ist da zu empfehlen, wo man über Speisewasser verfügt, das entweder von Natur rein ist oder welches künstlich gereinigt wird.

Eine weitere vorteilhafte Eigenschaft dieser Kessel besteht darin, dass sich dieselben verhältnismässig schnell anheizen lassen; allerdings fällt dies beim Strassenbahnbetriebe, in dem sehr plötzliche und besonders ganz unerwartete Verbrauchssteigerungen, etwa wie beim Betriebe von Lichtwerken (plötzlich eintretendes Gewitter), nicht vorkommen, nicht so sehr ins Gewicht wie bei jenen.

Als Repräsentant der eben genannten Kesselart ist in Fig. 20 ein Wasserrohrkessel der Firma L. und C. Steinmüller in Gummersbach abgebildet, die zu den bedeutendsten Kesselfabriken gehört. Die Beanspruchung des Steinmüller-Kessels ist bei guten Zugverhältnissen mit 15—20 kg trockenen Dampfes pro Quadratmeter Heizfläche und Stunde anzunehmen, und der Kessel wird in Grössen von 10—500 qm Heizfläche für 6—20 Atmosphären Konzessionsdruck gebaut.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass bei den verschiedenen Kesselsystemen vielfach eine Ueberhitzung des Dampfes in mässigen Grenzen angestrebt wird, und zwar entweder durch besonders eingebaute Ueberhitzungssysteme oder dadurch, dass die Kessel selbst mit derartigen, die Ueberhitzung bewirkenden Teilen direkt ausgerüstet sind.

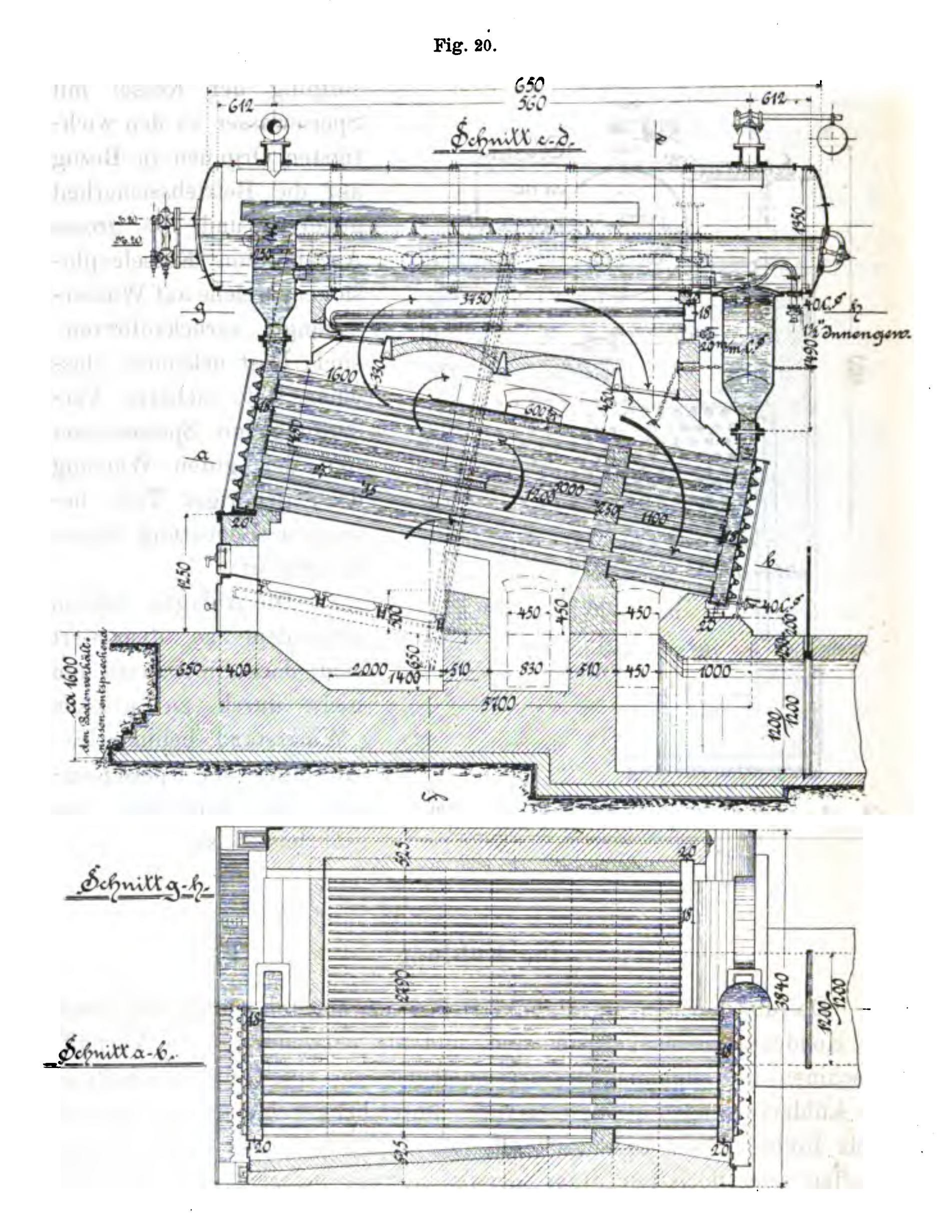
Der Wert der Ueberhitzung liegt vielleicht nicht so sehr in der Verwendung von überhitztem Dampf in den Maschinen, wo die Ueberhitzung auch Nachteile mit sich bringt, als vielmehr darin, dass die Bildung von Kondenswasser in den Rohrleitungen und die damit verbundenen Verluste und besonders Gefahren eher vermieden werden.

Die Rohrleitungen bilden einen nicht unwesentlichen Bestandteil einer zweckmässig angelegten Kraftzentrale und haben daher volle Aufmerksamkeit zu beanspruchen. Sie gehören mit zu denjenigen Teilen der Anlage, welche leicht zu Störungen Veranlassung geben, und welche demgemäss häufig kleine Reparaturen, besonders an den Dichtungen, erfordern. Wenn auch durch besonders sorgfältige Auswahl der konstruktiven Einzelheiten in dieser Beziehung viel gewonnen wird, so kann es trotzdem wohl als Forderung aufgestellt werden, dass die Rohrleitung einer Bahnzentrale stets eine doppelte sein soll, derartig, dass bei plötzlich eintretenden Defekten Reserve vorhanden ist. Es ist hierbei nicht nötig, dass eine der beiden Rohrleitungen für gewöhnlich ausser Betrieb gesetzt wird, vielmehr erscheint es zulässig, stets beide zu benutzen. Die Ausführung kann natürlich in verschiedener Weise erfolgen und zwar unter mehr oder weniger vollkommener Zweiteilung der Anlage.

Unbedingt erforderlich ist eine gute Isolierung der Dampfrohrleitung, und eine ebenso wichtige Forderung dürfte diejenige sein, dass

man zu allen Teilen bequem herankommen kann. Wesentlich unterstützt wird man hierbei, wenn für die Röhren, soweit sie unterirdisch

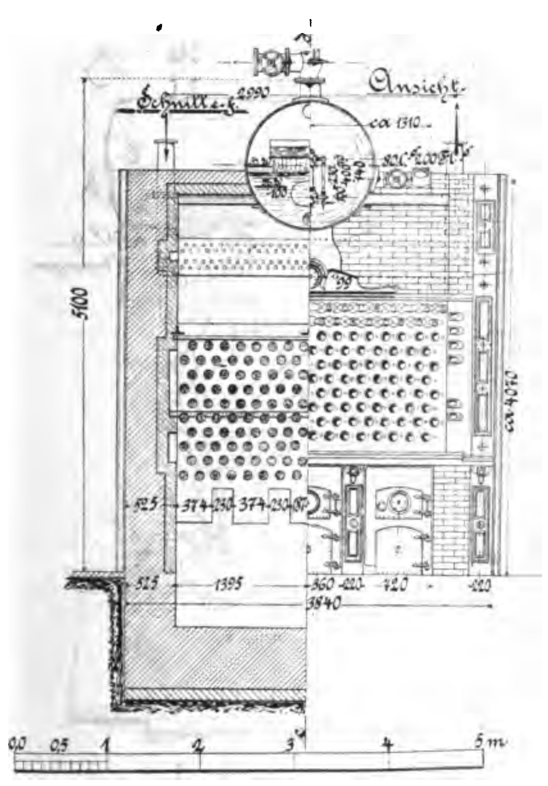
Fig. 20.



liegen, besonders begehbare Kanäle vorgesehen sind, in welchen natürlich auch künstliche Beleuchtung unentbehrlich und daher nicht zu vergessen ist.

Im Zusammenhang mit der Rohrleitungsanlage verdienen noch einige Nebeneinrichtungen eine Besprechung und zwar die Speise- und die Kühleinrichtung.

Es ist ohne weiteres klar, dass die Vorrichtungen zur Versorgung der Kessel mit Speisewasser zu den wichtigsten Organen in Bezug auf die Betriebssicherheit gehören, und die grosse Anzahl von Kesselexplosionen, welche auf Wassermangel zurückzuführen sind, lässt erkennen, dass einer stets sicheren Versorgung mit Speisewasser und der guten Wartung dazu gehöriger Teile besondere Bedeutung beizumessen ist.



Die Anlagen müssen ausserdem so disponiert sein, dass ein sicheres und nicht durch zu grossen Widerstand behindertes Ansaugen der Speisepumpen und Injektoren gewährleistet ist.

Die Kühlung.

Da die meisten im Bahnbetriebe verwendeten Dampfmaschinen mit Kondensation ausgerüstet sind, und die Verwendung von Auspuffmaschinen im allgemeinen unrationell ist, so spielt die Beschaffung von kühlem Kondensationswasser in hinreichender Menge eine bedeutende Rolle. Nicht immer ist das erforderliche Wasser direkt zu beschaffen oder doch nur unter Verwendung besonderer, eventuell auch kostspieliger Pumpanlagen, welche den Vorteil der Kondensation vielleicht wieder hinfällig machen. Man muss daher notgedrungen vielfach zu künstlicher Kühlung greifen.

Wenn schon der Gedanke der naheliegendste ist, dem zu kühlenden

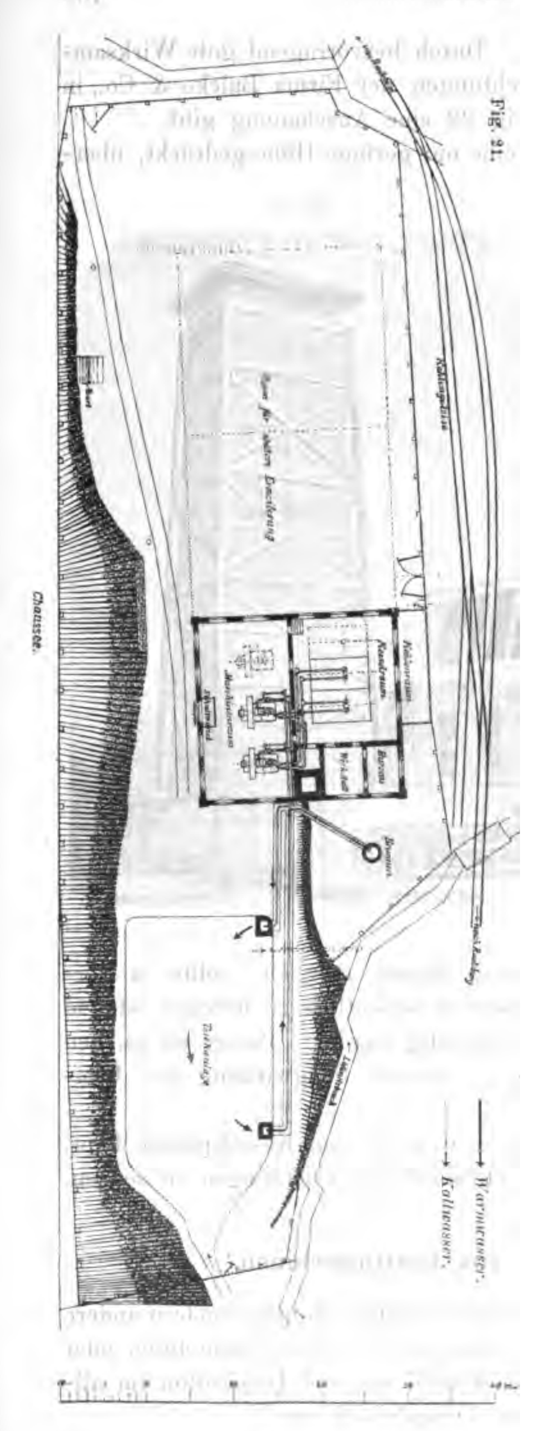


Fig. 21.

Wasser eine derartig grosse Oberfläche zu geben, dass von selbst eine genügende Kühlung eintritt, mit anderen Worten, Kühlteiche zu verwenden, so ist es doch nicht immer ohne Schwierigkeiten möglich, solche Kühlteiche von der erforderlichen Grösse herzustellen, welche offenbar den Vorzug idealer Einfachheit besitzen.

In manchen Fällen wirkt das Vorhandensein eines wenn auch dürftigen Wasserzuflusses sehr vorteilhaft, besonders wenn man dabei das Gegenstromprinzip in der Weise zur Anwendung bringt, wie es beispielsweise in der durch Fig. 21 skizzierten, von der Akt.-Ges. Elektrizitätswerke vormals O. L. Kummer & Co. ausgeführten Anlage in Niederlössnitz zur Anwendung gekommen ist.

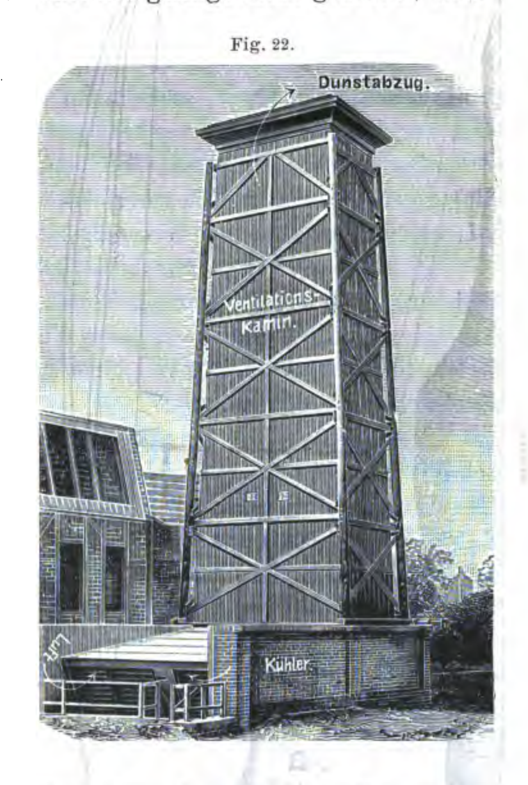
Es ist hierbei darauf zu sehen, dass das warme Wasser, welches die Dampfmaschinen verlässt, nahe derjenigen Stelle des Kühlteiches eintritt, an welcher der Ueberlauf für das abfliessende Teichwasser angebracht ist, und das Frischwasser nahe derjenigen Stelle entnommen wird, an der der Zufluss, d. h. die Einmündung des natürlichen Baches sich befindet.

Stehen derartige natürliche Mittel nicht zur Verfügung, so muss man zu künstlichen Kühlvorrichtungen

greifen, insbesondere Kühltürmen. Durch hervorragend gute Wirksamkeit zeichnen sich die Kühleinrichtungen der Firma Balcke & Co. in Bochum i. W. aus, von denen Fig. 22 eine Anschauung gibt.

Das Warmwasser wird auf eine nur geringe Höhe gedrückt, überrieselt eine Anzahl von Brettergestellen und wird während dieses Vorganges durch einen Luftstrom gekühlt, welcher infolge der schornsteinartigen Wirkung des Kühlers von selbst entsteht. In dem Fortfalle künstlicher Mittel zur Erzeugung des Luftzuges ist ein wesentlicher Vorteil zu erblicken; ebenso wirkt günstig der Umstand, dass die anzuwendende Kraft für Hochbeförderung des Warmwassers verhältnismässig klein ist, und dass demgemäss der Verlust an Energie, welcher mit derartigen künstlichen Kühlern leider verbunden ist, auf ein möglichst geringes Mass reduziert wird. Auch das Aussehen genügt allen berechtigten Ansprüchen. Der Platzbedarf ist nicht erheblich. — Wenn irgend möglich, sollte es vermieden werden, dass das Warmwasser wesentlich zu drücken ist, so dass besondere Pumpen hierzu notwendig werden. Besser ist es, den Kaltwasserspiegel so tief zu legen, als die Saugwirkung der Kondensatorpumpen es gestattet.

Fig. 22.



Für Befreiung des Wassers, soweit es zum Kesselspeisen dient, von mitgeführtem Oel ist durch Oelabscheideeinrichtungen zu sorgen.

Besondere Arten von Kraftmaschinen.

Finden in der Kraftstation nicht Dampfmaschinen, sondern andere Kraftmaschinen Verwendung, wie Gasmotoren, Petroleummotoren oder dergleichen, so gilt bezüglich der Einteilung und Disposition im allgemeinen das Gleiche wie von den Dampfmaschinen.

In dem Falle der Verwendung von Wasserkräften soll man danach trachten, wenn möglich nicht mehr als zwei Maschinenaggregate zu verwenden und nur dann eine höhere Anzahl wählen, wenn die Wasserverhältnisse aus technischen Rücksichten dies nötig machen. Es ist durchaus vorteilhaft, die Einfachheit derartiger Anlagen auf das höchste Mass zu bringen, und Wasserkräfte, welche den berechtigten Anforderungen genügen, machen im allgemeinen eine Sparsamkeit mit dem zur Beaufschlagung verwendeten Wasser nicht erforderlich.

Da bei Wasserkräften die einschlägigen Verhältnisse und Bedingungen ausserordentlich verschiedenartig sind, so soll an dieser Stelle von einem Eingehen auf dieses Spezialgebiet abgesehen werden.

Nur soviel wollen wir bemerken, die Anordnung der Turbinen und ihrer vom Gefälle und der Wassermenge abhängigen Konstruktion hat einen Einfluss auf die Art der Verbindung mit den Dynamos, auf welche in gleicher Weise, wie oben bei den Dampfmaschinen erörtert, Rücksicht zu nehmen ist.

Bei grosser Wassermenge und geringem Gefälle steht die Turbinenachse meist vertikal, und es ist daher nur mit Hilfe von Kegelradübersetzung möglich, einen Antrieb der Dynamos mit horizontaler Achse, sei es durch Riemen und dergl. oder durch direkte Kuppelung, zu erreichen. Bei hohem Gefälle dagegen und geringer Wassermenge sind die Turbinen unschwer mit horizontaler Achse auszuführen und ihre Tourenzahl naturgemäss nicht unangenehm klein, so dass Kuppelung leichter angeht.

Es bleibt natürlich auch bei vertikaler Achse die Möglichkeit, die Dynamos in liegender Ringform mit Vertikalachse direkt über den Turbinen, mit diesen gekuppelt, anzuordnen, doch fallen sie hierbei gross und teuer aus.

Die Schaltanlage.

Eine, wenn auch ziemlich ausgedehnte Strassenbahnanlage ist im Prinzip derartig einfach, dass auch die dazu gehörige Schaltanlage sich durch hervorragende Einfachheit auszeichnen sollte. Die Regeln, welche in Bezug auf betriebs- und feuertechnische Sicherheit zu befolgen sind, haben der Beratung des „Verbandes deutscher Elektrotechniker“ über Mittelspannungsanlagen unterlegen, und es kann daher auf diese verwiesen werden, wenn sie auch noch keine definitive Gültigkeit, insbesondere für Bahnen, besitzen.

Folgende Apparate wird man auf der im allgemeinen aus Marmor hergestellten Schaltanlage anbringen. Für jede Maschine ist ein Aus-

schalter, ein Strommesser und ein Spannungsregulator erforderlich. Zur Messung der Spannung muss ein umschaltbarer Spannungsmesser vorhanden sein. Die abzweigenden Speiseleitungen sind mit Bleisicherungen, je einem Handausschalter und einem Maximalausschalter, sowie einem Strommesser zu versehen. Der Zweck des Handausschalters ist, dass man, wenn infolge eines Kurzschlusses der Maximalausschalter ausgeschaltet hat, erst durch den Handausschalter die Verbindung lösen und dann gefahrlos den Selbstausschalter wieder einlegen kann. Das darauffolgende Einschalten des Handausschalters ist dann, auch wenn noch Kurzschluss auf der Strecke ist, ungefährlich, da die Selbstausschalter, wenn sie richtig konstruiert sind, momentan funktionieren. Ist eine Pufferbatterie vorhanden, so wird man in dieselbe zweckmässigerweise keine Maximalausschalter, sondern nur Bleisicherungen einschalten, da kurze Ueberanstrengungen der Batterie nichts schaden.

In Betreff der Maximalausschalter ist zu bemerken, dass dieselben reichlich bemessen werden müssen, damit sie nicht etwa zu früh ausschalten, und um dem leider sehr beliebten Festbinden derselben vorzubeugen. Man muss hierbei berücksichtigen, dass bei jeder Bahn zeitweise in jeder einzelnen Speiseleitung erhebliche Stromstärken auftreten. Die Automaten müssen daher erst bei einer wesentlich grösseren Stromstärke ausschalten, als gewöhnlich von dem Strommesser angezeigt wird. In dieser Beziehung ist schon oft gefehlt worden.

Wünschenswert ist das Vorhandensein eines Wattstundenzählers für die an die Bahn abgegebene Gesamtenergie und, wenn eine Batterie benutzt wird, ausserdem ein vor- und rückwärtsgehender Wattstundenzähler in ihrem Stromkreis.

Die Gebäude.

Bei dem aus vielen Einzelheiten zusammengesetzten Betriebe einer Bahnzentrale, besonders wenn dieselbe mit dem Wagendepot verbunden ist, macht sich eine geringe Mehrausgabe bei der Anlage leicht durch den Betrieb bezahlt. Man soll daher bestrebt sein, alle Räume reichlich gross und hoch, sowie hell auszuführen. Insbesondere gilt dies von der Wagenhalle, bei der auch das Vorhandensein von Revisionsgruben als ein wichtiges Erfordernis zu betrachten ist. Gerade die Bahnmotoren bedingen hohe Sorgfalt in ihrer Beaufsichtigung und Wartung, vor allen Dingen aber Reinlichkeit, und diese wird man nur dann mit Erfolg durchführen können, wenn dem Personal genügend Raum, Luft und Licht geboten wird. Um das Ein- und Ausrücken der Wagen zu erleichtern, muss die Weichenanlage auf dem Depot

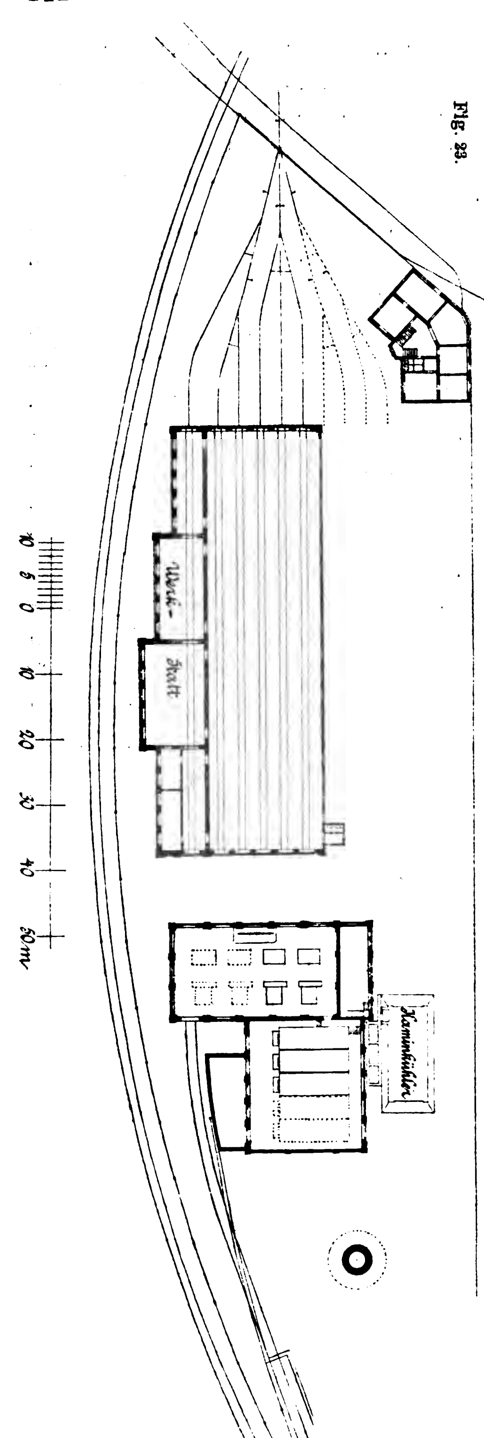


Fig. 23.

zweckmässig angelegt sein; ausserdem ist eine Schiebebühne sehr von Nutzen. Als bester Platz für diese Schiebebühne ist nicht der vordere Teil der Wagenhalle, d. h. derjenige, an dem man einfährt, zu betrachten, sondern das hintere Ende derselben. Verfügt man vorne über eine zweckmässige Weichenanlage und am hinteren Ende der Halle über eine bequeme Schiebebühne, so wird das Ein- und Ausrücken, sowie das Einziehen schadhafter Wagen wesentlich erleichtert. Die Reparaturwerkstatt bringt man je nach den Terrain- oder sonstigen Verhältnissen entweder hinter der Schiebebühne oder neben der Wagenhalle an.

Bei dem Maschinenhaus ist, insofern Akkumulatoren verwendet werden, darauf zu achten, dass die Räume, in welchen die Zellen Aufstellung finden, von dem Maschinenraume vollständig getrennt sind, damit in diesen nicht etwa Säuredämpfe eindringen.

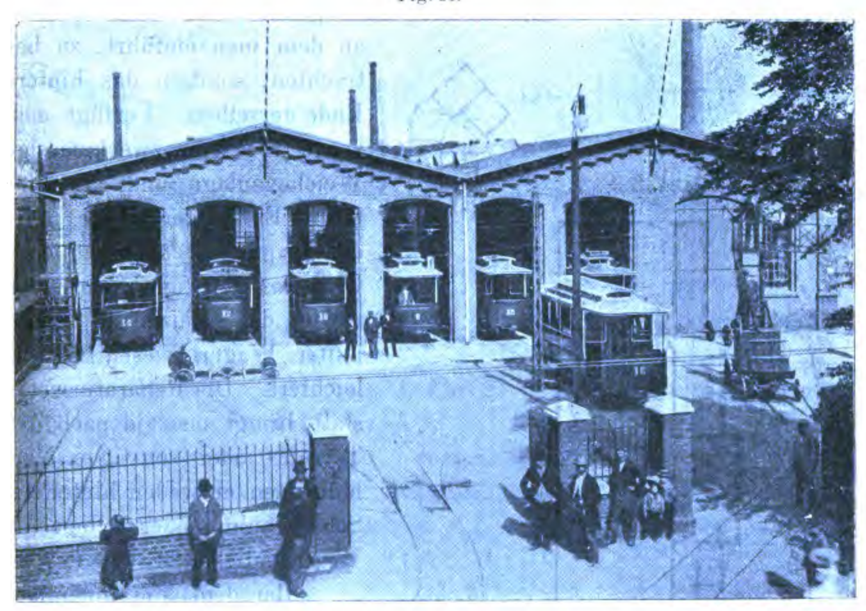
Für die Zufuhr von Kohlen ist die Verwendung eines Eisenbahnanschlussgeleises, wenn die Möglichkeit dazu geboten ist, sehr erwünscht. Ein Lageplan der von der Akt.-Ges. Elektrizitätswerke vormals O. L. Kummer & Co. ausgeführten Kraftstation in Witten ist in Fig. 23 gegeben.

Im Maschinenraum soll eine Ventilation durch Fenster oder in anderer Weise ermöglicht werden, jedoch so, dass nicht Feuchtigkeit, die sich niederschlägt, auf die Maschinen herabtropft.

Eine Abbildung einer Wagenhalle zeigt Fig. 24.



Fig. 24.



Anordnung der Leitungen.

Die Leitungsanlage von elektrischen Bahnen zeichnet sich im allgemeinen durch grosse Einfachheit aus. Der gewöhnliche Betrieb mit oberirdischer Leitung findet in der Weise statt, dass die Stromzuleitung zum Wagen durch den sogen. Fahrdraht einerseits und durch die Schienen andererseits erfolgt.

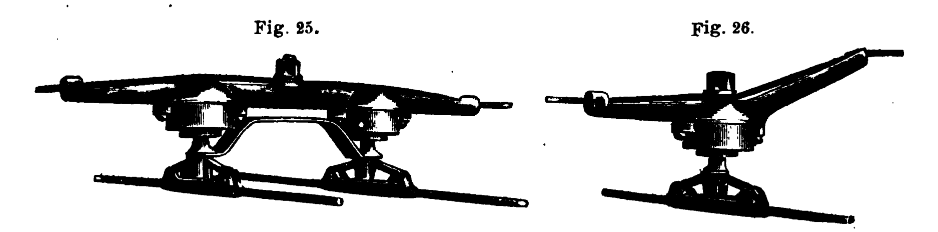
Der Fahrdraht besteht jetzt meistens aus hartgezogenem Kupferdraht von 50 qmm Querschnitt, welcher entweder an Spanndrähten oder an Auslegern, die von Masten getragen werden, aufgehängt ist.

Es ist zweckmässig, den Abstand der Querdrähte nicht wesentlich grösser als 35 m zu wählen. Dieselben bestehen am besten aus Stahldraht erster Sorte von 5 mm Durchmesser und werden durch Vermittelung von angebogenen Oesen, die bewickelt und verlötet werden, oder in anderer Weise an dazu gehörigen Armaturteilen befestigt.

Die Aufhängung der Fahrdrähte an den Querdrähten oder Auslegern wird durch Fahrdrahtisolatoren vermittelt in der Weise, dass

der Fahrdraht in entsprechende Armaturen eingezogen, eingelötet oder am besten eingeklemmt wird. Die Isolation darf nicht aus sprödem Material, wie Glas oder Porzellan bestehen, sondern es wird, wie jetzt meist üblich, ein indifferentes Isoliermaterial verwendet. Eine Aufhängung für Doppelfahrdraht ist in Fig. 25 abgebildet, eine solche

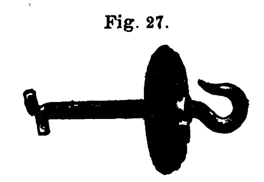
Fig. 25. Fig. 26.



für Anbringung in Kurven in Fig. 26. Der nach oben stehende Arm verhindert eine Schiefstellung der Aufhängung.

Die Befestigung der Querdrähte an den benachbarten Häusern findet z. B. durch ganz einfach gehaltene Haken mit Mauerrosette statt, wie in Fig. 27, welche mit Gips oder besser Zement in konische Maueröffnungen eingelassen werden. Man verwendet auch Rosetten, welche aus mehreren Teilen zusammengesetzt und mit schalldämpfenden Zwischenlagen versehen sind, doch dienen dem Zwecke der Schalldämpfung auch besondere in die Querdrähte eingehängte Vorrichtungen.

Fig. 27.



Stehen Gebäude nicht zur Verfügung, so benutzt man Masten, und zwar entweder Holzmasten, deren Verwendung jedoch wenig zu empfehlen ist, oder eiserne Gitter- oder Rohrmasten.

Die Konstruktion derartiger Eisenmasten ist sehr verschiedenartig. Das Prinzip der Ausführung soll durch die Fig. 28—31 angedeutet werden, von welchen Fig. 28 einen einfachen Gittermast, Fig. 29 einen solchen von quadratischem Querschnitt und Fig. 30 und 31 Rundmasten darstellen. Gleichzeitig deutet die Ausführung Fig. 29 einen Mast für Spann- und Querdrähte an, während der Mast Fig. 28 mit Ausleger versehen ist. Unter Fortfall des Auslegers dient der Mast gleichfalls für Querdrähte. Bei den Rohrmasten ist die Verschiedenartigkeit der Ausführungsweise in Fig. 30 durch einen aus cylindrischen Absätzen von verschiedenem Durchmesser bestehenden Mannesmannrohrmast, in Fig. 31 durch einen konischen geschweissten Blechmast, wie solche von W. Fitzner, Laurahütte hergestellt werden, wiedergegeben. Fig. 31 macht ersichtlich, in welcher Weise die Masten mit besonderer Ele-

Fig. 28.

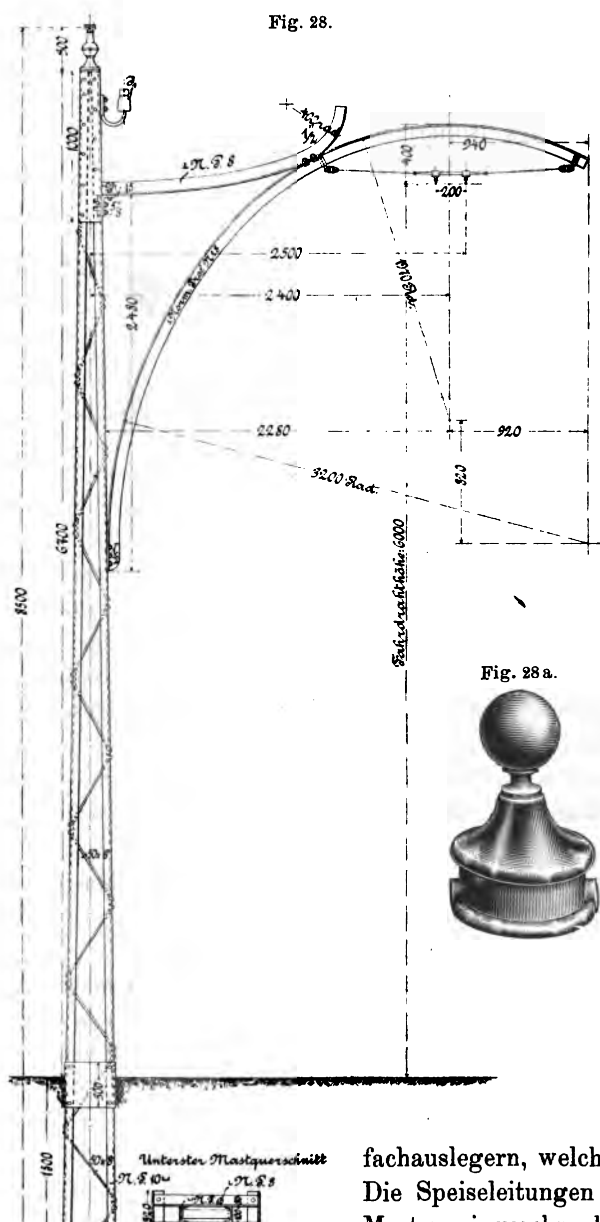


Fig. 28a.

ganz verziert werden können.

Werden ausser dem Fahrdraht, welcher bei neueren Ausführungen häufig doppelt verlegt wird, besondere Speiseleitungen angewendet, so versieht man die Masten ausserdem noch mit Isolatoren, wie Fig. 28 zeigt. Andernfalls bildet den Abschluss eventuell ein Gussstück wie Fig. 28a.

Eine bildliche Darstellung einer vollständigen Leitungsanlage ist in Fig. 32 gegeben. Dieselbe stellt die Station Willing der elektrischen Normalspureisenbahn Aibling-Feilnbach in Bayern dar. Wir erkennen daraus die Anordnung der hölzernen Leitungsmasten mit Doppelauslegern und Einfachauslegern, welche den Fahrdraht tragen. Die Speiseleitungen liegen auf den in die Masten eingeschraubten Isolatoren.

Falls man die Leitung unterirdisch anordnet, so wird dieselbe als eisenbandarmiertes Kabel mit Bleimantel am besten in Gräben von etwa 80 cm Tiefe verlegt und in reinen Sand eingebettet, worauf dieselbe eventuell noch mit Ziegelsteinen oder ähn-

Fig. 29.

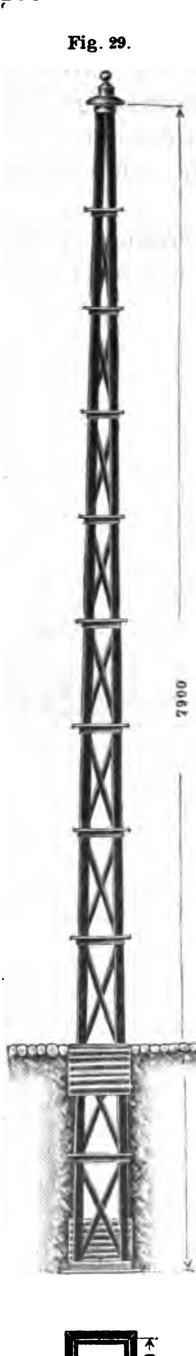


Fig. 30.



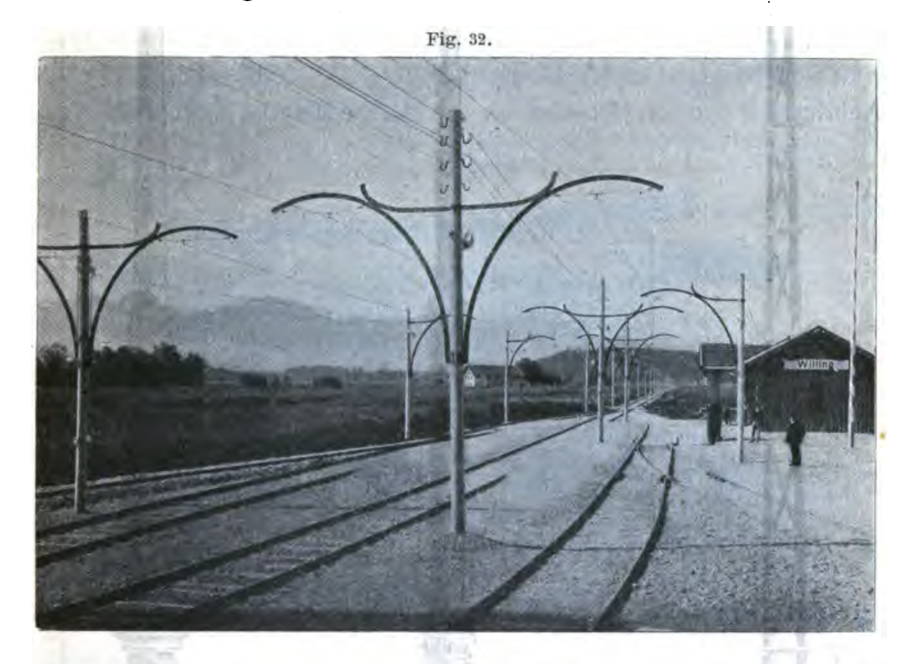
Fig. 31.



lichen Schutzeinrichtungen abgedeckt wird. Es ist wichtig, dass Vorsorge getroffen wird, die Kabel vor späterer Beschädigung gelegentlich von Aufgrabungen bei Arbeiten an Gas- und Wasserrohrleitungen zu schützen. Insbesondere ist es wünschenswert, dass solche Aufgrabungen der Betriebsleitung rechtzeitig bekannt werden.

Kabel unter 100 qmm Querdurchschnitt zu verwenden, dürfte nicht zweckmässig sein, am besten wird man Querschnitte von 150 bis

Fig. 32.



500 qmm verwenden. Die kleineren Querschnitte sind aus Rücksicht auf die geringen Mehrkosten stärkerer Kabel nicht zweckmässig, insofern man nämlich die Kabelkosten nebst Montage einschliesslich Kabelgräben in Betracht zieht, und dicke Kabel sind aus Rücksicht auf die schwierigere Verlegung und die grosse Anzahl von Verbindungsmuffen nicht zu empfehlen, besonders da es auch nicht zweckmässig ist, vom Schaltbrett aus sehr starke Einzelströme fortzuleiten.

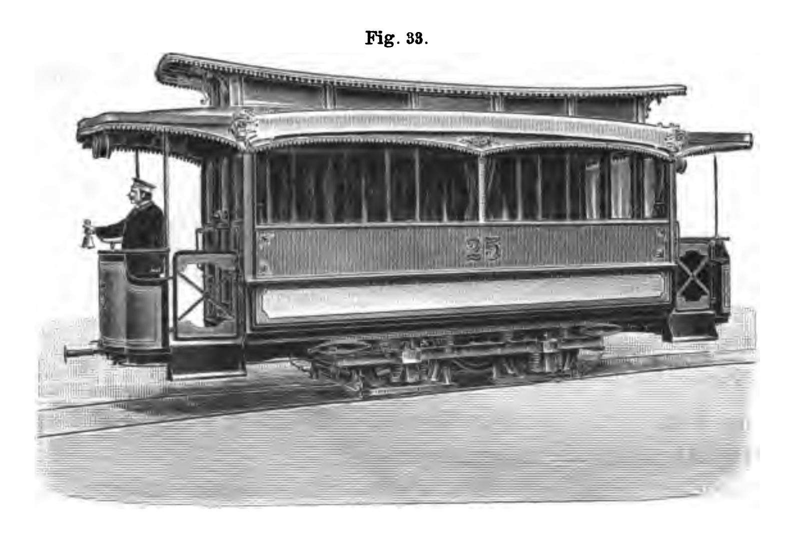
Die Wagen.

Wenden wir uns zunächst der Betrachtung der Strassenbahnwagen zu und vergleichen die äussere Erscheinung der heutigen elektrischen Motorwagen für Strassenbahnen und derjenigen der früher gebräuchlichen Pferdebahnwagen, so werden wir konstatieren müssen,

dass nicht nur die Eleganz der jetzigen Einrichtungen eine wesentlich höhere ist als diejenige bei den früheren und die Grösse der Wagen im allgemeinen zugenommen hat, sondern dass auch in Bezug auf die ganze Durchbildung des Wagenmaterials bei den elektrischen Bahnen weit mehr eisenbahntechnisch verfahren wird, als bei den Pferdebahnen. Der Grund hierfür liegt nicht nur in der Gewichtsvermehrung durch die Anbringung der Elektromotoren und des Zubehörs, sondern auch in der Anwendung grösserer Geschwindigkeit und in den im Gefolge hiervon stehenden Aenderungen des Verkehrsbedürfnisses.

Die Eleganz der Motorwagen prägt sich vor allen Dingen in der Anbringung grosser Glasscheiben aus gutem Material und in der Ver-

Fig. 33.



wendung von gutem, fehlerfreiem Holz für die innere Ausrüstung aus, auch ist die Benutzung von gepresstem Deckenbelag mit zu diesen verfeinerten Einrichtungen zu zählen. Gehoben wird der Gesamteindruck durch die Anwendung ausgiebiger Beleuchtung, bei welcher auch kein Grund zum Sparen vorliegt, da der Strom billig zur Verfügung steht. Die Anlehnung der Wagenkonstruktionen an diejenigen von Eisenbahnen zeigt sich vor allem in der Wahl kräftiger, aus Eisen und Stahl hergestellter und mit starker Federung ausgestatteter Untergestelle. Dazu kommt noch, dass die Verwendung immer grösserer Wagentypen naturgemäss dazu führt, die Wagen nicht nur mit zwei Achsen auszurüsten, sondern wie bei grossen Eisenbahnwagen Drehgestelle zu benutzen, welche einen stabilen Gang und ein leichtes Durchfahren von Kurven mit den so gebildeten Wagen gewährleisten.

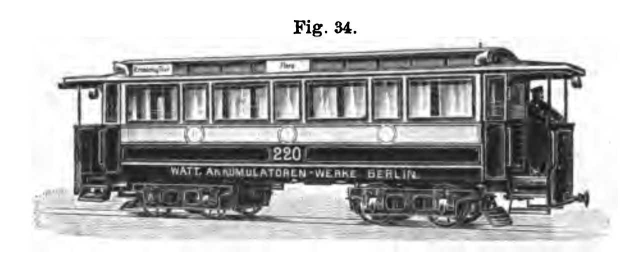
Die im Nachstehenden mitgeteilten Wagenkonstruktionen sind zum grossen Teil Ausführungen und Projekten der Firma Akt.-Ges. Elektrizitätswerke (vormals O. L. Kummer & Co.) entnommen. Einige Wagentypen stammen von der Wagenbauanstalt und Waggonfabrik für elektrische Bahnen (vormals W. C. F. Busch) Hamburg und Bautzen und von anderen hervorragenden Firmen.

In Fig. 33 ist ein zweiachsiger Wagen neuerer eleganter Konstruktion dargestellt, welcher sich von dem alten Pferdebahnwagen nicht nur durch die angeführten Eigentümlichkeiten, sondern auch dadurch unterscheidet, dass die Dachkonstruktion in eigenartiger geschweifter Form hergestellt ist.

Ein Beispiel der erwähnten vierachsigen Drehgestellwagen für Strassenbahnen ist in Fig. 34 gegeben.

Von beiden genannten Wagen ist zu bemerken, dass dieselben,

Fig. 34.



wie das Fehlen der Stromzuführungseinrichtung erkennen lässt, für Akkumulatorenbetrieb eingerichtet sind.

Solange man mit kleinen Motorwagentypen arbeitet, ist bei grösserem Verkehr die Anwendung von Anhängewagen erforderlich. Eine derartige Zusammenstellung zweier geschlossener Wagen, von denen der eine als Motorwagen, der zweite als Anhängewagen funktioniert, lässt Fig. 35 erkennen.

Sehr häufig werden die Anhängewagen, welche ja vorzugsweise bei schönem Wetter den Andrang des Publikums zu bewältigen haben, nicht in geschlossener Form, sondern als offene Wagen hergestellt. Die Anordnung der Sitze erfolgt in diesem Falle entweder in der Art wie bei den alten offenen Pferdebahnwagen mit Quersitzen, oder als Längssitze, welche im Gegensatz zu der gewöhnlichen Motorwagenkonstruktion nicht an der Aussenseite, sondern in der Mittelachse des Wagens ihre Lehne besitzen, wie dies aus Fig. 36 ersichtlich ist.

Grössere Personenmotorwagen werden bisweilen mit Quersitzen ausgeführt, von deren Anwendung Fig. 37 ein Beispiel gibt. Aus dieser Abbildung ist gleichzeitig eine besondere Form der Drehgestelle

ersichtlich, diejenige des ungleichrädrigen Untergestelles der Bergischen Stahlindustrie in Remscheid-Berlin. Dasselbe besitzt zwei Achsen, von denen die eine mit grossen, die andere mit kleinen Laufrädern ausgestattet ist. Ausserdem ist der Unterstützungspunkt des Wagenkastens derartig gelagert, dass das grössere Räderpaar, dessen Achse von dem Motor angetrieben wird, den grösseren Teil der Last trägt, so dass die Adhäsion besser ausgenutzt wird, als bei gewöhnlichen Drehgestellen.

In Fig. 38 ist ein ebenfalls mit dem ungleichrädrigen Untergestell der Bergischen Stahlindustrie ausgerüsteter Wagen dargestellt.

Fig. 35.



Derselbe besitzt einen Wagenkasten nach der Konstruktion der Firma Hermann Heinrich Böker & Co. in Berlin, bei welcher die Fenster geteilt sind und in das Seitenpaneel versenkt werden können, so dass der Wagen im Sommer als offener zu benutzen ist. Bei der von der genannten Firma zum Patent angemeldeten Einrichtung ist, wie aus Fig. 39 ersichtlich, durch einen Ausschnitt im Längsbalken eine so tiefe Versenkung erreicht, dass nur ein Paneel von ca. 65 cm oben stehen bleibt.

Der in Fig. 40 abgebildete Wagen unterscheidet sich von den gewöhnlichen Strassenbahnausführungen dadurch, dass seine Perrons mit einem Schutz durch Glasfenster versehen sind. Diese Einrichtung ist besonders dann zu empfehlen und von Nutzen, wenn grössere Ueberlandstrecken zu durchfahren sind, auf denen ein Schutz des Wagenführers gegen Witterungseinflüsse (Schnee u. dergl.) erwünscht ist.

Fig. 36.

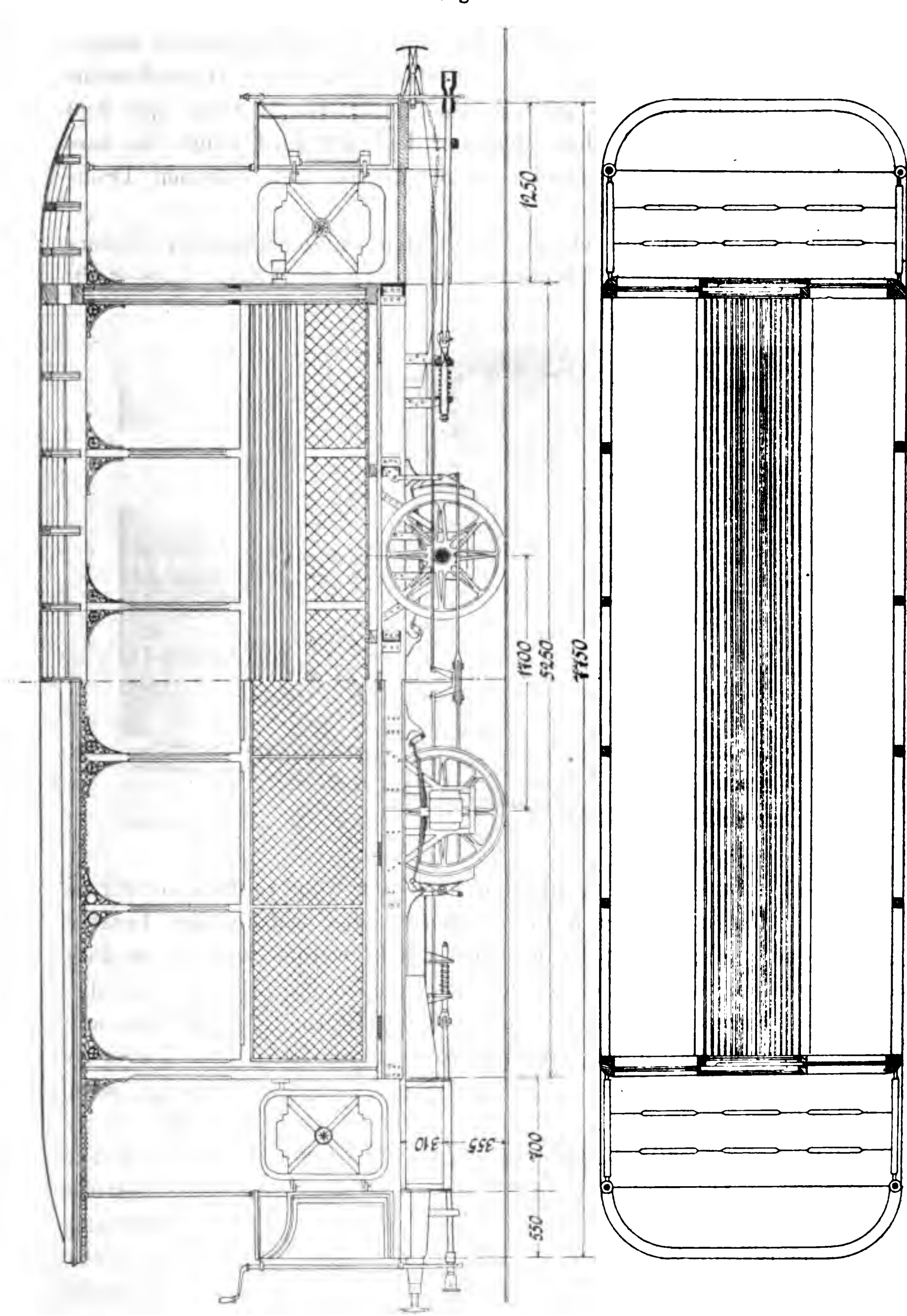
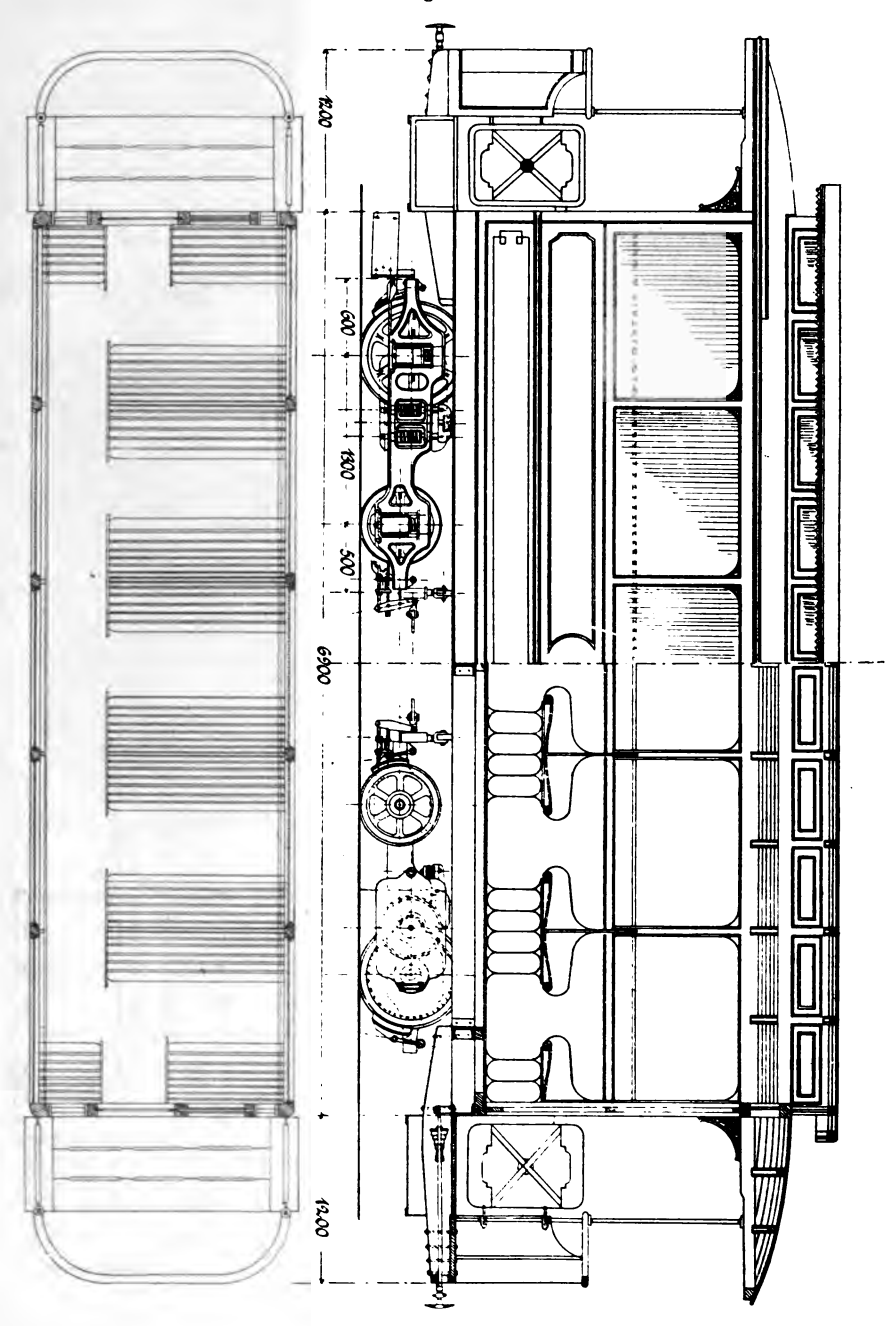


Fig. 37.



Die oben erwähnte Anlehnung an die Eisenbahnkonstruktion tritt noch mehr hervor, sobald die Wagen nicht auf Strassenbahnen, sondern auf eigenem Bahnkörper laufen. Ein solcher Personenmotorwagen grösserer Dimensionen, welcher zum Betriebe einer elektrischen Eisenbahn bestimmt ist und einen Entwurf von F. Ringhoffer in Snichow bei Prag wiedergibt, ist in seiner generellen Disposition aus Fig. 41 ersichtlich und besonders dadurch charakterisiert, dass sich der Länge nach ein Durchgang durch denselben hindurchzieht, von welchem man

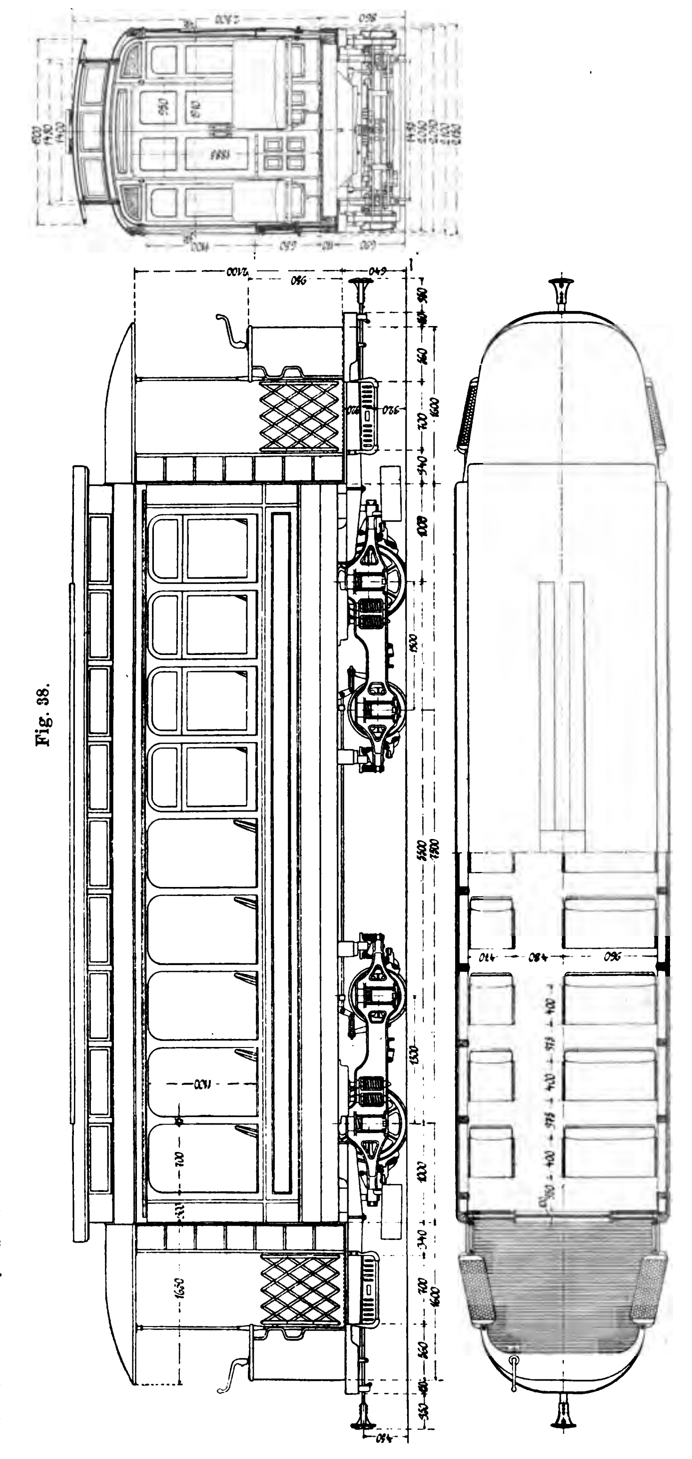
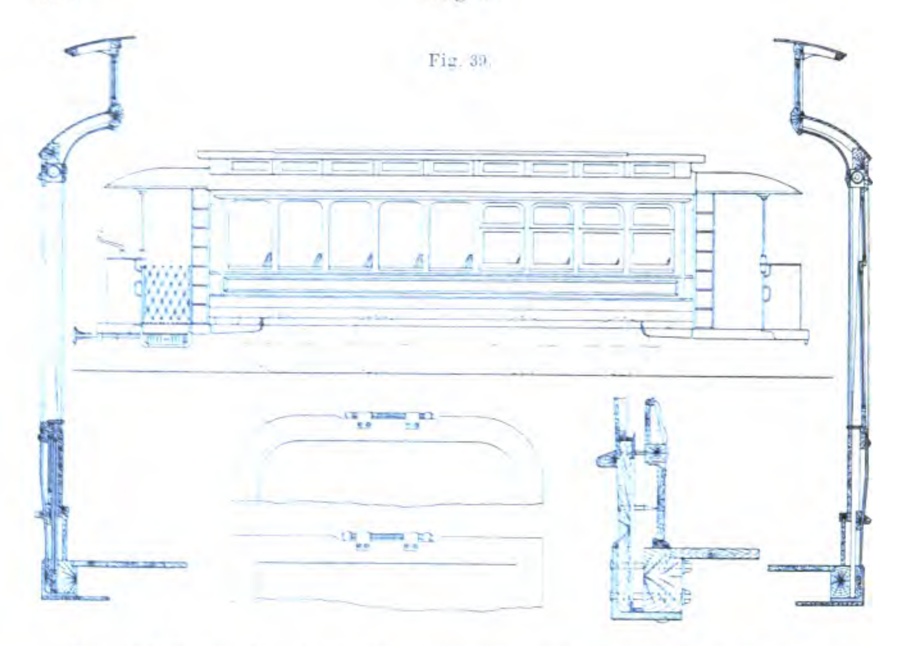


Fig. 38.

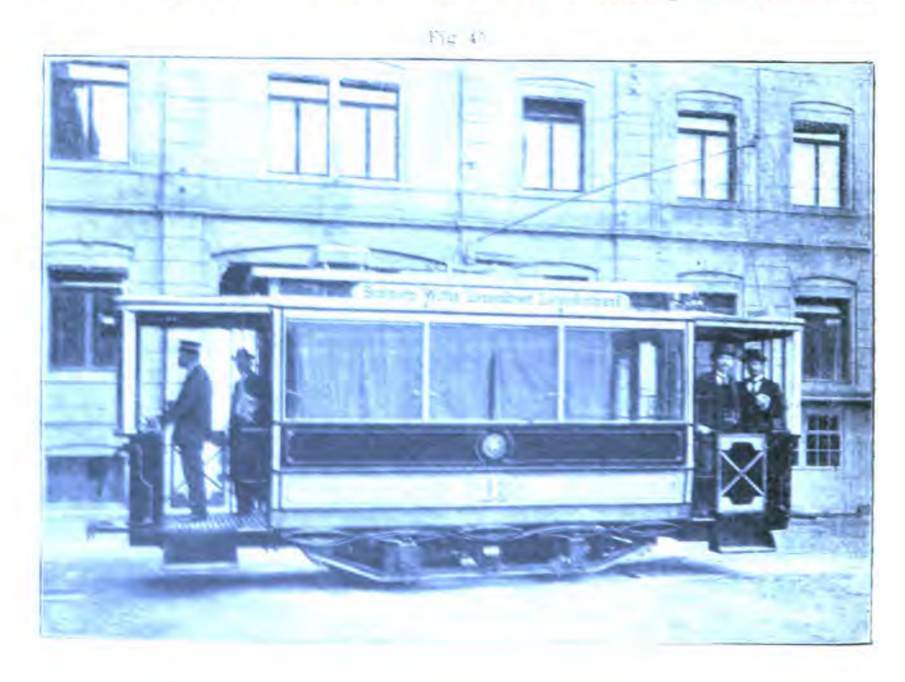
Fig. 39.

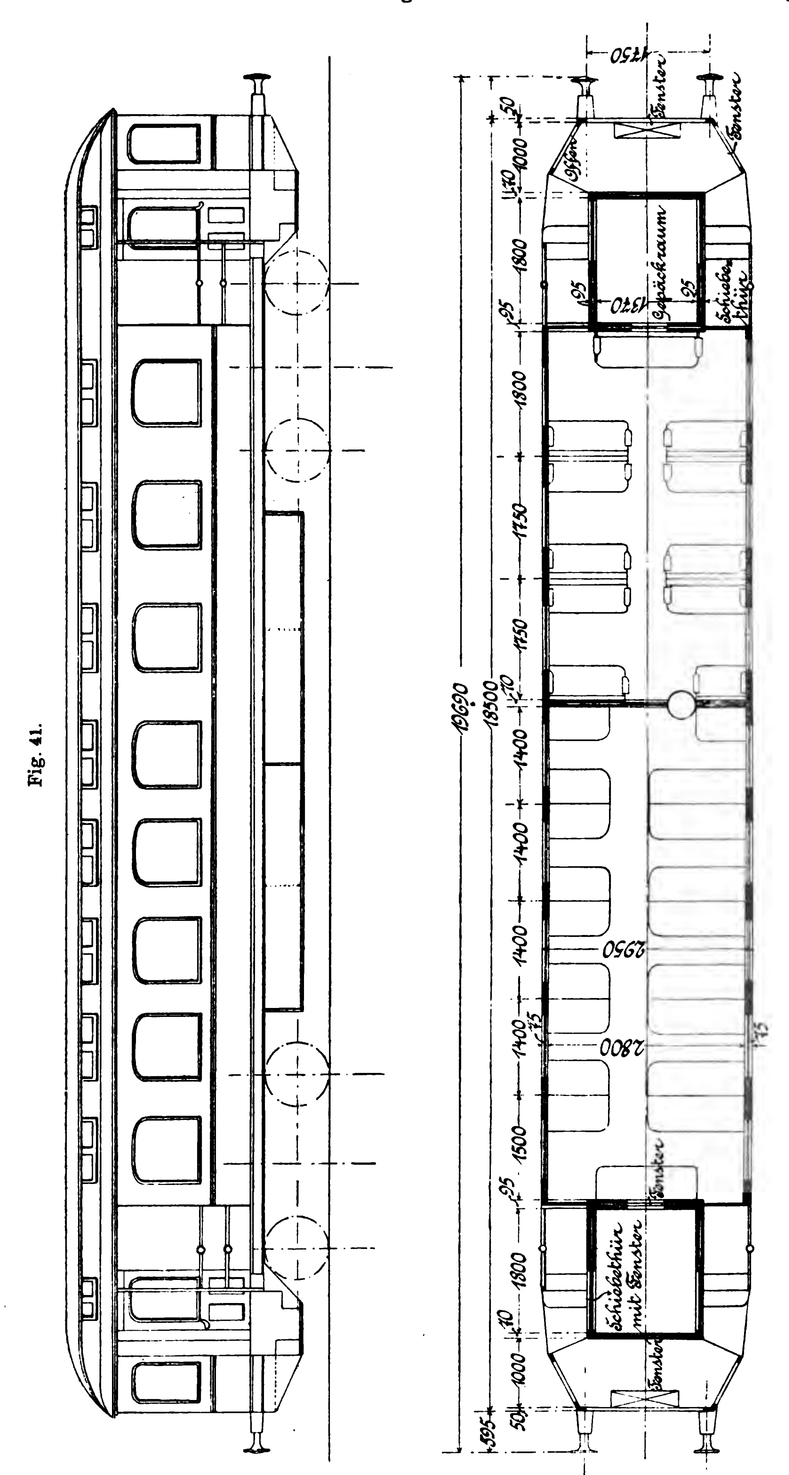


zu den seitlich angebrachten Quersitzen gelangt. Das Ein- und Aussteigen erfolgt an den Enden des im übrigen vollständig geschlossenen Wagens.

Eine andere Ausführung eines Eisenbahnwagens für elektrischen Betrieb zeigt Fig. 42. Derselbe ist unter Verwendung von Eisenbahn-

Fig. 40.





Gepäckraum
Schiebethür
Schiebethür mit Fenster
Fenster
19690
18500
1750
1370
2950
2800

Fig. 41.

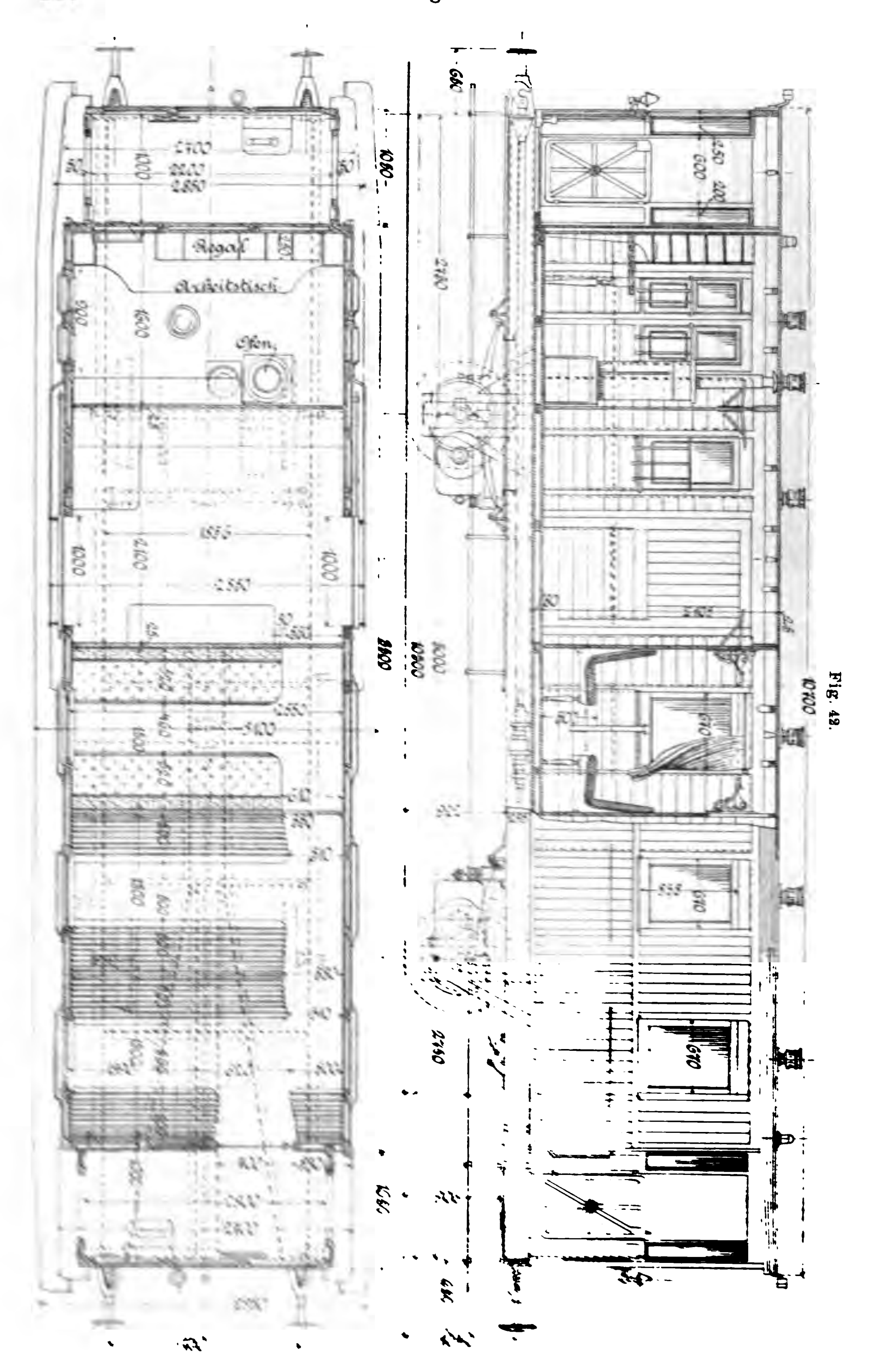


Fig. 42.

normalien gebaut, besitzt zwei Lenkachsen, welche von je einem Motor angetrieben werden, und enthält zwei Coupés 3., eins 2. Klasse, Gepäck- und Postraum. Dieser Wagen, stammend aus der Fabrik von Beu-

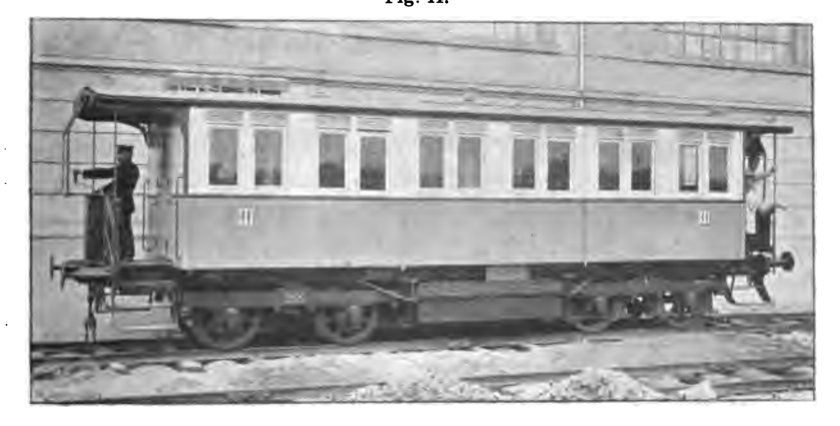
Fig. 43.



chelt & Co. in Grünberg i. Schl., ist in Fig. 43 nach einer photographischen Aufnahme abgebildet.

Fig. 44 gibt einen Eisenbahnwagen für Akkumulatorenbetrieb wieder, welcher ebenso wie der vorgenannte von der Firma Akt.-Ges.

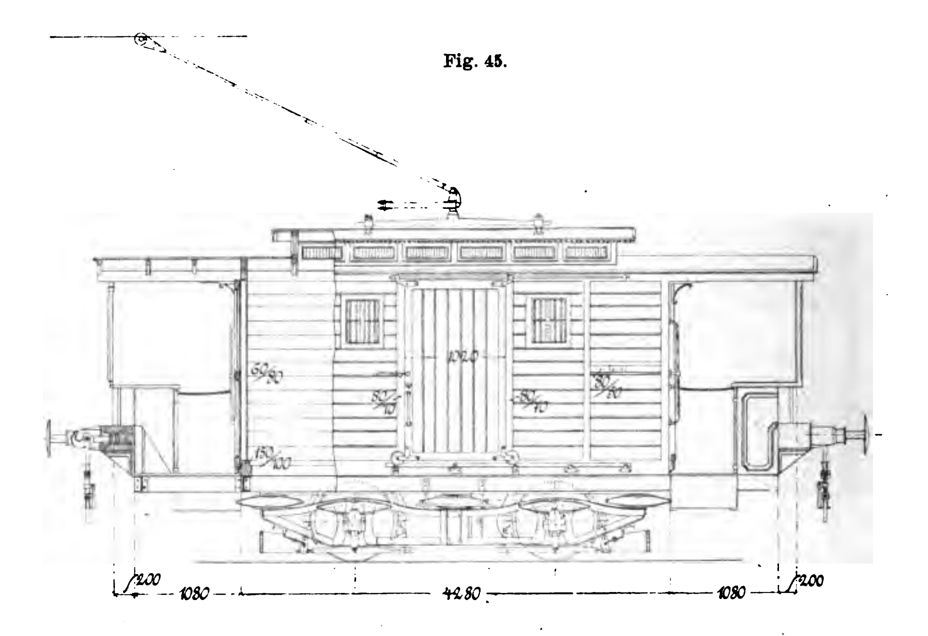
Fig. 44.



Elektrizitätswerke (vorm. O. L. Kummer & Co.) elektrisch ausgerüstet ist. Derselbe ist jedoch so konstruiert, dass er auf zwei Drehgestellen ruht, und besitzt keine äussere Stromzuführung, da die Motoren die erforderliche Energie aus den unter dem Wagen angebrachten Akkumulatoren entnehmen.

Einen Güterwagen, welcher dem Betriebe der normalspurigen, von der Akt.-Ges. Elektrizitätswerke (vorm. O. L. Kummer & Co.) erbauten Eisenbahn Aibling-Feilenbach dient, erblicken wir in Fig. 45. Derselbe kann, weil als Motorwagen ausgerüstet, gleichzeitig zum Schleppen von Personenanhängewagen in gemischten Zügen benutzt werden.

Fig. 45.



Die Motorfahrzeuge für Fabrikbahnen bildet man zweckmässig in einer Form aus, die dieselben möglichst kompendiös gestaltet, was aus dem Grunde leicht möglich ist, weil derartige Lokomotiven ausser dem Wagenführer keine weiteren Personen aufzunehmen brauchen. Die Fabriklokomotive nach Fig. 46 enthält in der Mitte den Führerstand und ist an den beiden Enden abgeflacht, so dass sie die gestellten Bedingungen in zweckmässiger Weise erfüllt. Zur Erleichterung des Rangierens ist dieselbe in gleicher Weise wie der Motorwagen nach Fig. 43 mit Bügelkontakt ausgerüstet, mit dem Unterschiede jedoch, dass nicht wie an dem grossen Eisenbahnmotorwagen deren zwei, sondern nur einer vorhanden ist. Eine ähnliche Konstruktion weist die Lokomotive Fig. 47 auf.

Von weiteren Fahrzeugen, welche dem Betriebe von elektrischen Bahnen dienen, zeigt Fig. 48 einen Sprengwagen und Fig. 49 eine Kehr- und Schneefegemaschine mit Salzstreueinrichtung. Während die Abbildung des Wasserwagens sich von selbst erläutert, mag über die Schneefegemaschine noch folgendes bemerkt werden. Der motorische Antrieb erfolgt, da der Raum unterhalb des Wagens von dem Bürsten- und Uebertragungsmechanismus eingenommen wird, von oben her. Die Kehrmaschine ist von der Aktiengesellschaft Elektrizitätswerke

Fig. 46.



(vormals O. L. Kummer & Co.) geliefert, und zwar ist die von der Maschinenfabrik Cyklop in Berlin hergestellte Einrichtung mit dem erforderlichen Antriebs- und Strom-Reguliermechanismus kombiniert worden. Die eigentliche Funktion der Maschine spielt sich in der Weise ab, dass die Bürsten aus spanischem Rohr gleichzeitig mit der Fortbewegung des Wagens in Rotation geraten. Die Bürsten sowie die seitlich angebrachten Schneeräumer sind in ihrer Höhenlage zu verstellen. Das Salzstreuen wird durch Drehung des Hebels von Salztrommeln bewirkt, deren eine links sichtbar ist. Die Steuerung und die mechanische sowie elektrische Bremsung kann wie bei den Motorwagen von den Führerständen aus gehandhabt werden.

Ausser den zum eigentlichen Betriebe, zur Reinigung und Sauber-

haltung der Strassen erforderlichen Wagen und Einrichtungen sind gewisse Vorkehrungen nothwendig, um etwaige Reparaturen an der Leitungsanlage bequem und schnell ausführen zu können. Auch diese übrigens mit den bei der Leitungsmontage üblichen übereinstimmenden Einrichtungen werden gewöhnlich fahrbar hergestellt und besitzen demgemäss die Form von hochgebauten Wagen, auf deren oben befindliche Plattform man mit Hilfe von Steigeleitern gelangt, welche an dem Wagengestell selbst angebracht sind. Fig. 50 lässt die Konstruktion eines derartigen Wagens erkennen. Dieser von der Wagenbauanstalt und Waggonfabrik für elektrische Bahnen (vorm. W. C. F. Busch) stammende Turmwagen ist so eingerichtet, dass die Höhe der Plattform sich verstellen lässt, wodurch man erreicht, dass der

Fig. 47.

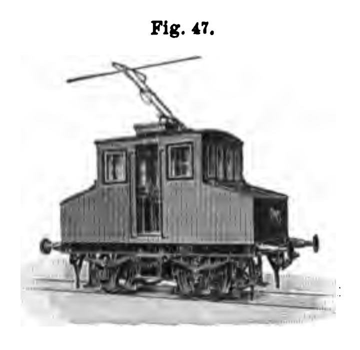
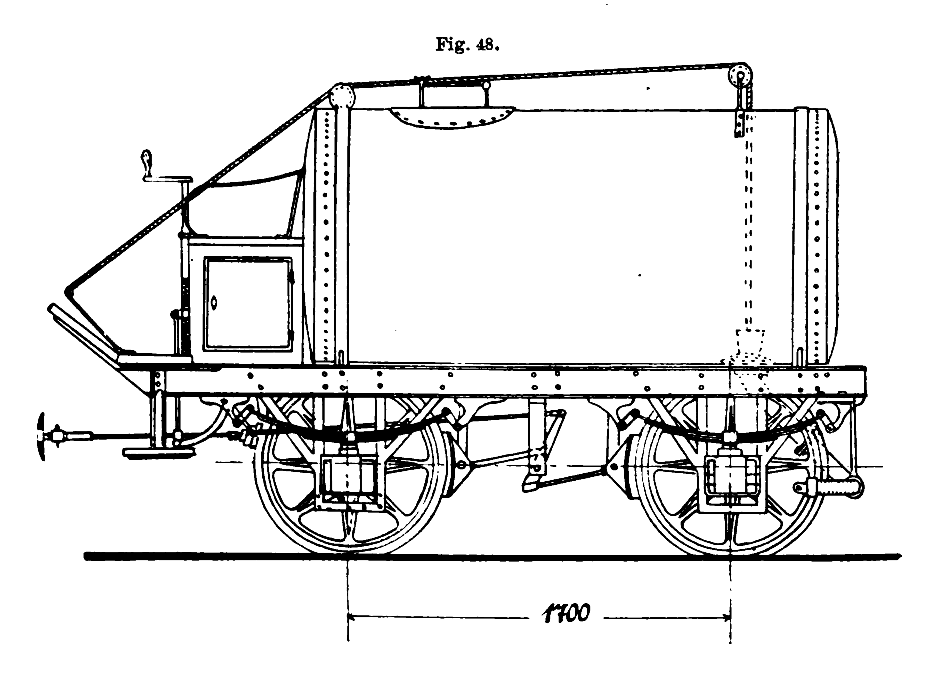


Fig. 48.



Arbeitende sich stets in geeigneter Höhe neben dem Fahrdraht oder dem sonst etwa zu reparierenden Teil befindet. Die Verstellung erfolgt mit Hilfe eines Kettenrades mit Kette, welches unter Vermittelung von Schraubenrädern auf Zahnräder einwirkt. Die Be-

nutzung eines ähnlichen Wagens bei der Leitungsmontage ist in Fig. 51 dargestellt. Der Turmwagen Fig. 50 ist in gewöhnlicher Weise auf der Strasse fortzubewegen und zum Bespannen mit Pferden bestimmt. Richtet man das Untergestell und die Räder so ein, dass dieselben auf den Schienen laufen können, so erfolgt die Fortbewegung durch Anhängen an Motorwagen. Derartige Wagen besitzen nur für gewöhnlich den Nachteil, dass der Radstand ziemlich klein gewählt werden muss und die Stabilität darunter leidet, auf welche auch besonders deswegen Wert gelegt werden muss, weil die

Fig. 49.

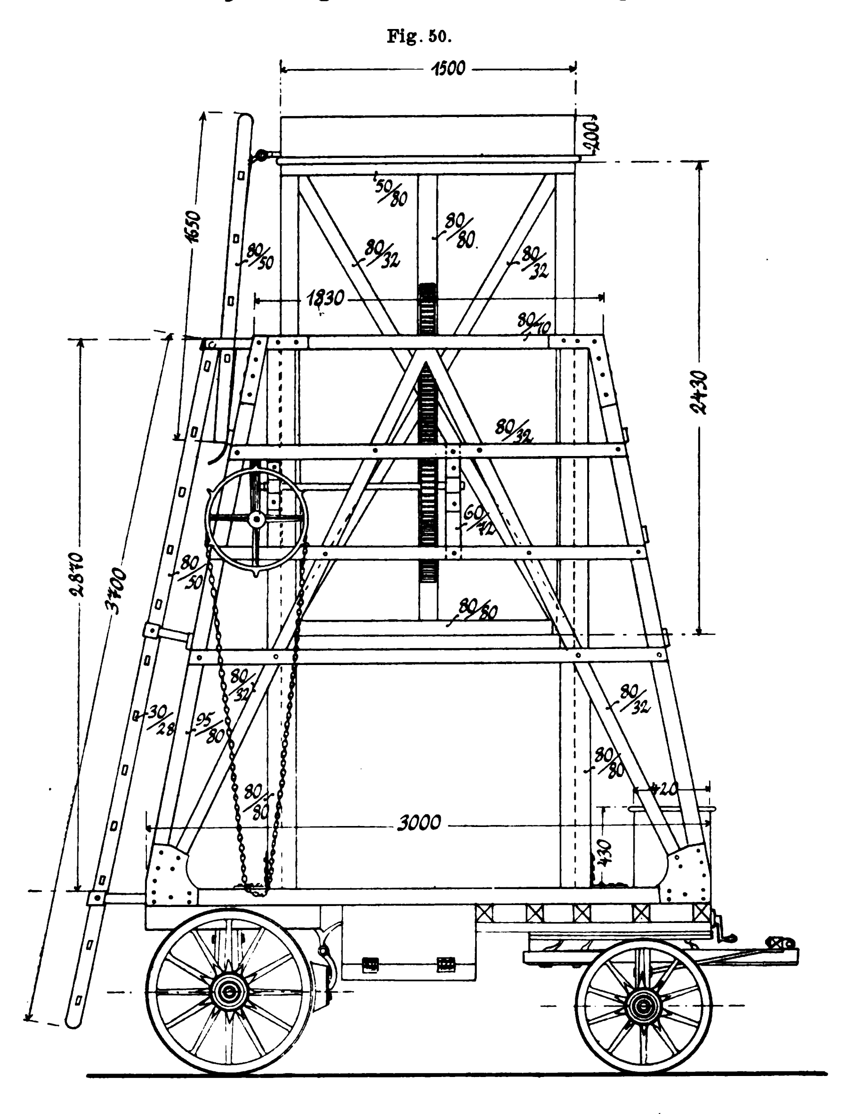


seitlich angebrachte Verlängerung der Plattform infolge ihrer freien Ausladung besondere Anforderung an die Festigkeit des ganzen Aufbaues stellt. Nicht unerwähnt soll bleiben, dass die Plattform von der Erde, wenigstens durch Holz, isoliert sein muss, damit man, wie praktisch unvermeidlich, an dem Fahrdraht während des Betriebes arbeiten kann.

Eine Eigentümlichkeit des Fahrparks aller elektrischen Bahnen liegt darin, dass die Züge im allgemeinen sehr kurz und eigentliche Lokomotiven gewöhnlich nicht vorhanden sind, vielmehr die motorische Einrichtung in einem der Personen- oder Güterwagen mit untergebracht wird. Sobald es sich um Eisenbahnen mit grossen Geschwindigkeiten

handelt, wird die Unterbringung von Motoren mit genügender Stärke an den Wagenuntergestellen nicht immer ohne weiteres möglich sein, und es werden dann eventuell Spezialkonstruktionen notwendig, bei denen der Motorwagen lediglich als Lokomotive ausgebildet ist. Nicht

Fig. 50.

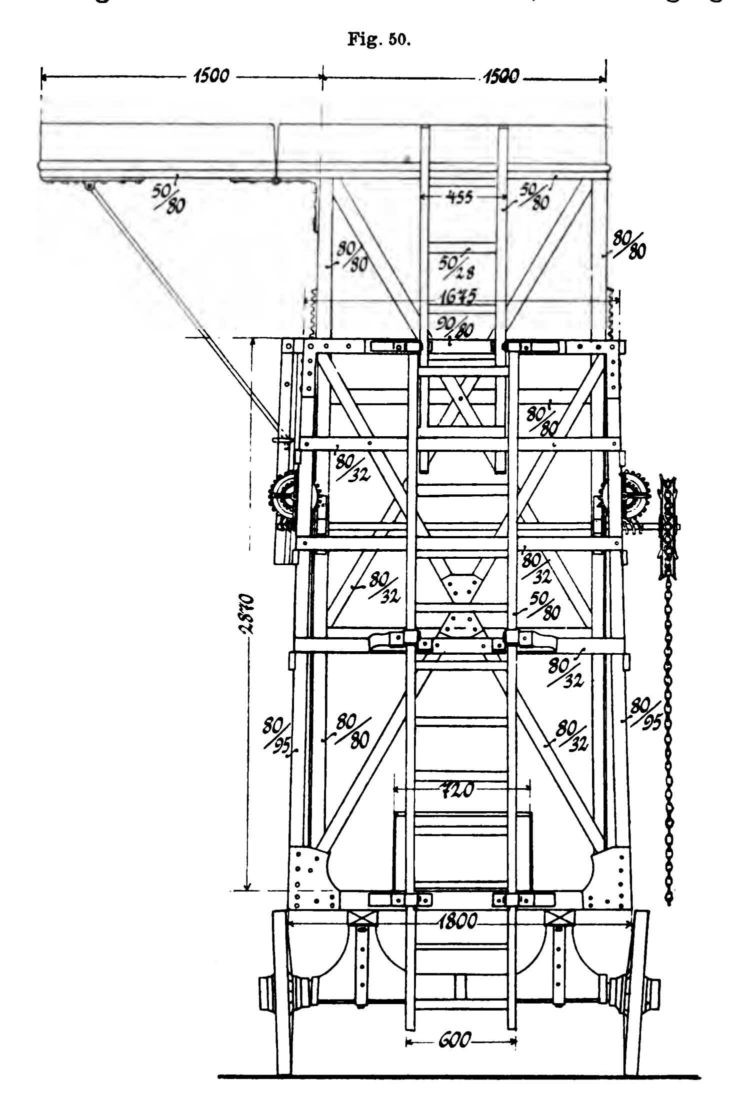


nur die grosse Geschwindigkeit, sondern auch andere besondere Verhältnisse können eine derartige Spezialkonstruktion wünschenswert machen. So sind beispielsweise Bergbahnen mit Zahnradbetrieb trotz oder gerade wegen ihrer geringen Geschwindigkeit mit besonderen

Lokomotiven ausgerüstet worden, bei denen der Raum oberhalb der Achsen von den Motoren oder ihrem Antriebsmechanismus ausgefüllt wird.

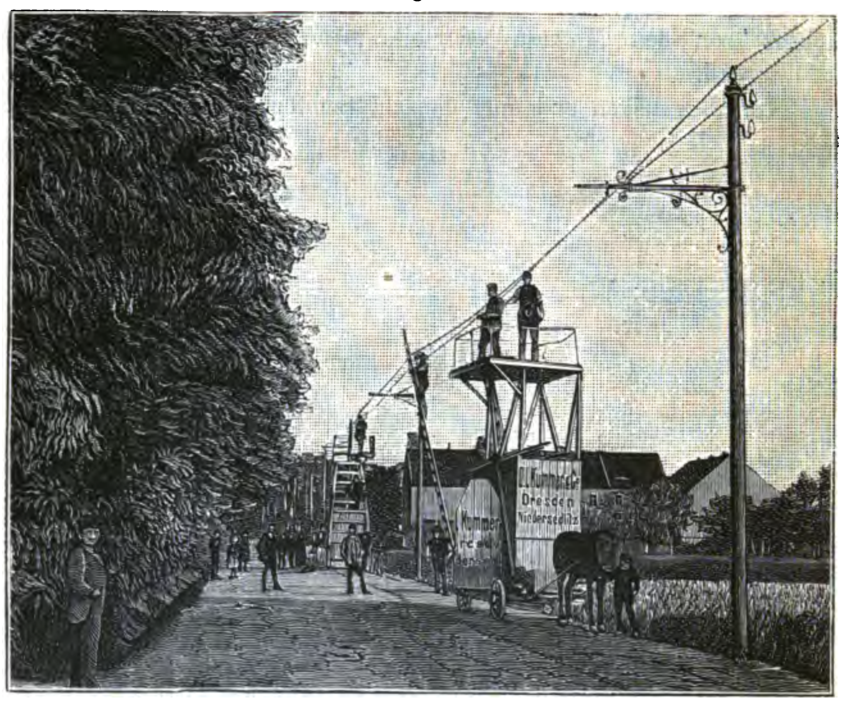
Im allgemeinen soll man danach trachten, die Bedingungen für

Fig. 50.



den Betrieb der Bahn so zu wählen, dass die Motoren in einem gewöhnlichen Fahrzeug untergebracht werden können, denn es ist eine Eigentümlichkeit des elektrischen Betriebes, dass derselbe in besonders vorteilhafter Weise einen häufigen Verkehr mit einzelnen Wagen oder

Fig. 51.



kurzen Zügen gestattet, im Gegensatz zum Dampfbetrieb, bei dem es in der Natur der Sache begründet ist, dass die Züge ziemlich lang werden und weniger häufig aufeinander folgen.

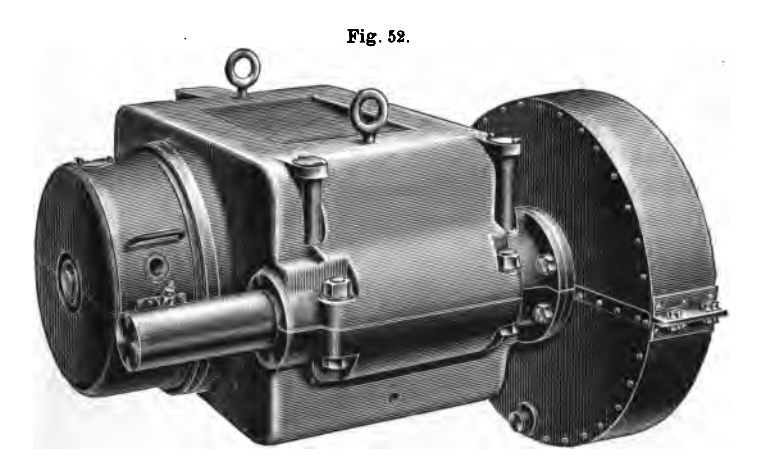
Die Motoren.

Die Konstruktion der im Bahnbetriebe üblichen Motoren ist prinzipiell einfach, insofern es sich um Elektromotoren wie bei jeder anderen Kraftübertragung handelt, bietet aber in verschiedener Beziehung besondere Eigentümlichkeiten, insoweit der Bahnbetrieb abweichende Anforderungen stellt. Zu diesen besonderen, durch die Verwendungsart gegebenen Bedingungen gehört insbesondere die Notwendigkeit, die Motoren vollkommen fest und dicht abzuschliessen, um dieselben gegen das Eindringen von Staub und Schmutz, sowie Feuchtigkeit zu schützen.

Aus diesem Grunde ist es notwendig und üblich, die Motoren so durchzubilden, dass sie äusserlich keinerlei vom Strom durchflossene Teile erkennen lassen und den Anblick eines kompakten gegossenen oder mit Blech verschlossenen Eisenkörpers darbieten. Kon-

struktionen mit Hufeisenmagneten und freiliegenden Spulen sind auch von denjenigen bald verlassen worden, welche den Versuch ihrer Anwendung gewagt haben. Das Aussehen eines modernen Strassenbahn-

Fig. 52.



motors ist aus Fig. 52 und 53 zu erkennen. Der eigentliche Magnetkörper aus Dynamostahlguss besitzt die Form eines Kastens, der in seinem Inneren die stromdurchflossenen Teile, wie Magnetspulen und

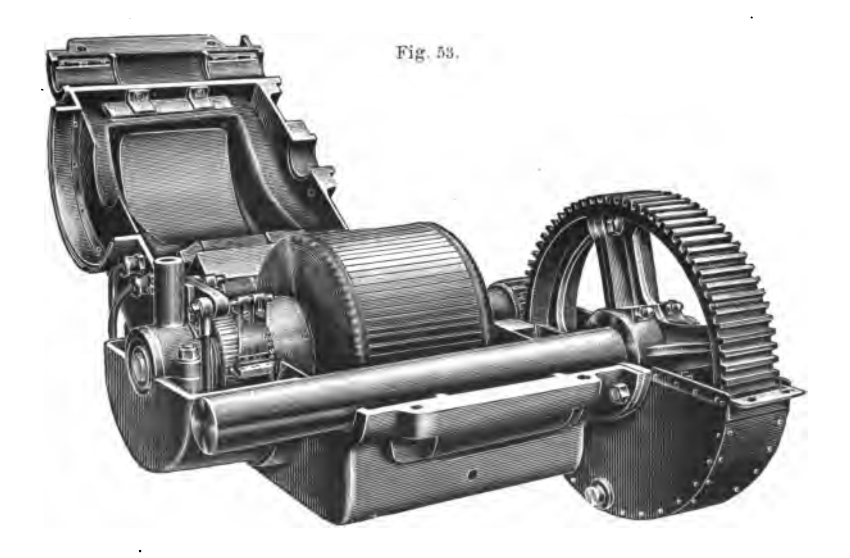


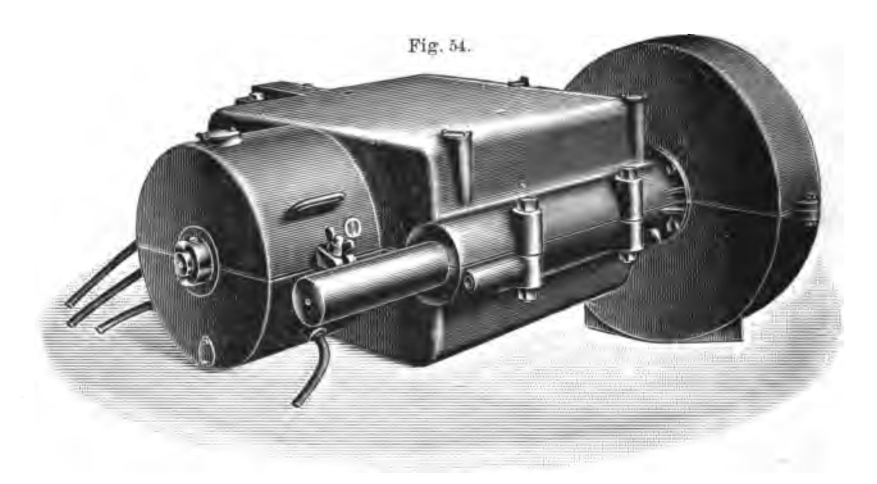
Fig. 53.

Anker birgt. Seitlich angebaut ist das Gehäuse für den Kollektor, und auf der anderen Seite, in der Figur rechts, befindet sich der Schutzkasten für die Zahnradübersetzung. Der Motor ist so konstruiert, dass die Wagenachse, von der in der Figur ein Stumpf sichtbar ist, durch

einen Anguss des Motors mit hindurchgeführt ist, so dass ein Teil des Motorgewichtes auf dieser Achse ruht. Ein anderer, eventuell der grösste Teil des Motorgewichtes, unter Umständen das Gesamtgewicht, wird auf eine federnde Aufhängung übertragen, die am Wagenuntergestell angebracht zu denken, und welche in der Figur fortgelassen ist.

Die innere Ausbildung des Motors gleicht bei diesem Modell einer zweipoligen Dynamomaschine, bei welcher der Ringanker von den beiden Magnetpolwickelungen zum Teil eingeschlossen wird, derart, dass

Fig. 54.



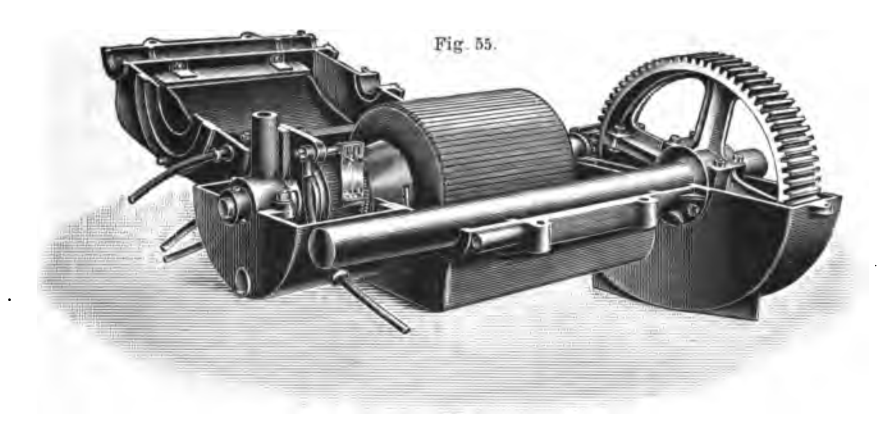
oberhalb und unterhalb des Ankers sich je ein Pol befindet. Die Uebersetzung von der Motor- auf die Wagenachse ist etwa 1 : 5.

Aehnlich wie der erwähnte Motor ist derjenige durchgebildet, welcher in Fig. 54 wiedergegeben ist. Der Unterschied der beiden Konstruktionen liegt hauptsächlich darin, dass der Motor Fig. 52 für 1 m Spur, derjenige nach Fig. 54 für Normalspur bestimmt ist. Da beide Motoren gleiche Leistungen besitzen, und zwar von normal 15 bis 25, maximal 35 PS bei normalen Geschwindigkeitsverhältnissen, so war es möglich, den Motor Fig. 54 und 55 infolge des reichlicheren Platzes von geringerer Höhendimension und grösserer Breite zu gestalten, während bei dem Motor Fig. 52 die Höhe naturgemäss grösser ausfällt, die einzelnen Teile aber seitlich sich stark zusammendrängen. In Fig. 56 und 57 ist eine Motorkonstruktion ähnlich der beschriebenen Art wiedergegeben und nach dem Erörterten wohl ohne weiteres verständlich.

Die Ausführung der Motoren kommt im allgemeinen derjenigen der abgebildeten gleich, nur unterscheiden sich die Fabrikate ver-

schiedener Firmen durch gewisse Abweichungen in der Anordnung der Anker und Magnetspulen. Während die beschriebenen Motoren, welche von der Aktiengesellschaft Elektrizitätswerke (vorm. O. L. Kummer & Co.) stammen, mit Ringankern ausgestattet sind und diese Firma bisher hauptsächlich diese Anordnung zur Anwendung gebracht hat, benutzen einige andere Firmen ausschliesslich Trommelanker; ferner findet man nicht nur zweipolige, sondern auch vierpolige, eventuell auch mehrpolige Motoren. Die Eigenschaft der Trommelmaschinen, einen etwas geringeren Durchmesser des Ankers zu liefern, ist wegen der Raumausnutzung bei den Strassenbahnmotoren in gewissem Grade vorteil-

Fig. 55.



haft, dagegen besitzt diese Anordnung den Nachteil, dass die Isolation der Drahtwickelung weit mehr Schwierigkeiten bereitet, als bei gewöhnlicher Ringwickelung. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass vier- und mehrpolige Motoren mit Trommelanker die Möglichkeit bieten, Schablonenwickelung anzuwenden. Eine solche Wickelung kann entweder bei glatten Ankern ohne Nuten ausgeführt werden, oder man benutzt Anker mit offenen Nuten, in welche die Wickelung eingelegt wird. In diesem Fall ist es notwendig, die Drähte durch eine Bandage festzuhalten oder mit Hilfe von Deckleisten, welche schwalbenschwanzartig geformt sind und in die Nuten eingeschoben werden. Häufig hat man sich aus Rücksicht auf die absolute Betriebssicherheit, welche den Nutenankern in mechanischer Hinsicht eigen ist, unter Verzicht auf Schablonenwickelung auf gewöhnliche Ringanker beschränkt.

Auch bei Anwendung nicht ganz offener Nuten besteht die Möglichkeit, die Wickelung von aussen einzuführen in der Weise, dass man, wie in des Verfassers Leitfaden zur Konstruktion von Dynamomaschinen (2. Auflage S. 69) erwähnt, genügend weite Schlitze anbringt,

um den Draht von aussen in die Nuten einzulegen. Auch derartige Nuten können durch Deckleisten ohne Zuhilfenahme von Bandagen geschlossen werden.

Einer der wichtigsten und subtilsten, ja vielleicht der wichtigste

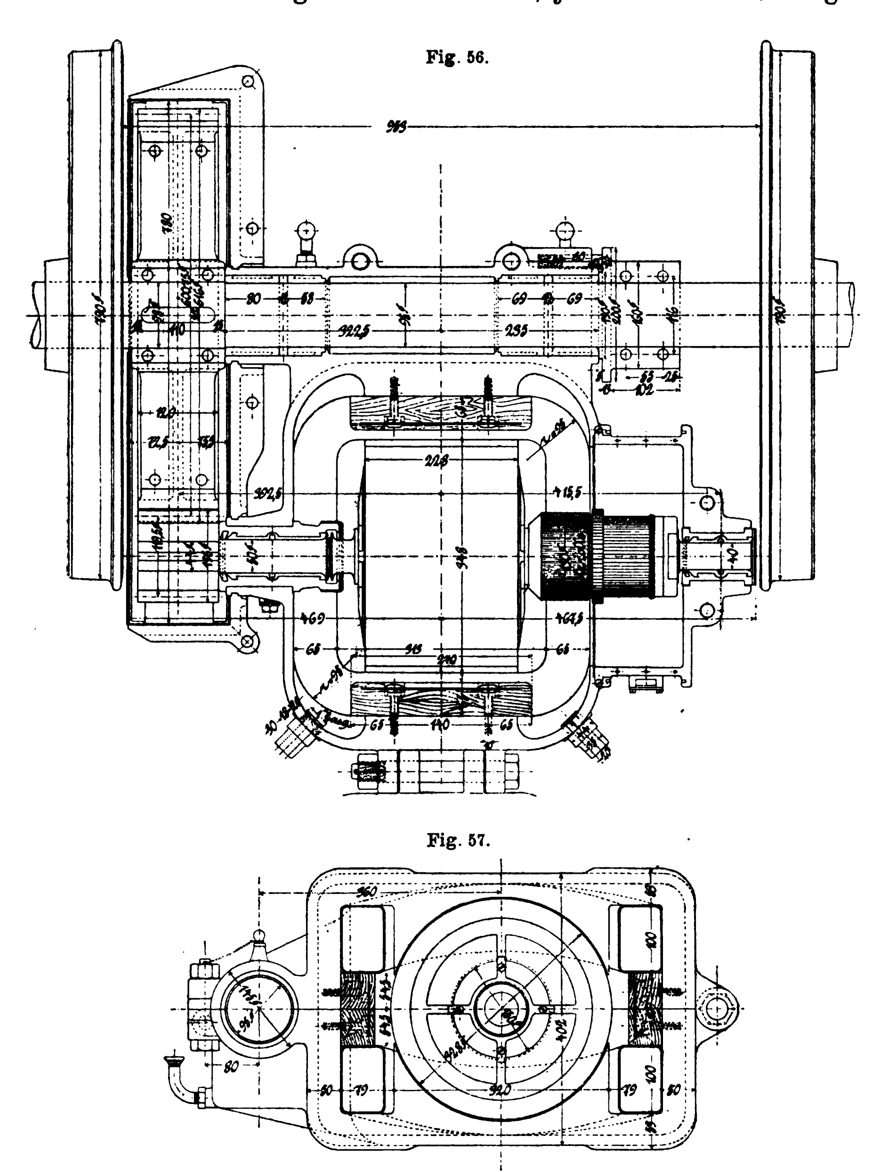


Fig. 56.

Fig. 57.

und am meisten gefährdete Teil der Motoren ist der Kollektor. Die Kleinheit der Kollektoren bei Strassenbahnmotoren und die allgemeine

Platzbeschränkung, welche sich auch speziell an dieser Stelle sehr störend bemerkbar macht, hat zur Folge, dass wohl am leichtesten ein Schadhaftwerden des wenn auch noch so vorzüglich und funkenlos laufenden Kollektors zu befürchten ist. Es ist daher unbedingt notwendig, diesem wichtigen Bestandteil ganz besondere Sorgfalt bei der Konstruktion und Bedienung angedeihen zu lassen. Die Isolationsfrage spielt hierbei die Hauptrolle. Als einziges zuverlässiges Material für Isolation der Kollektorlamellen gegeneinander und gegen die Endscheiben dürfte Glimmer oder Micanit zu betrachten sein, und zwar liegt die Hauptschwierigkeit nicht zwischen den Kollektorteilen, sondern am Ende derselben, weil dort die Einwirkung der ganzen Spannung zu befürchten ist. Unter Berücksichtigung des Grundsatzes, dass allgemein eine gute Isolation dann leicht zu erreichen ist, wenn der abirrende Strom gezwungen wird, durch festes Material hindurch zu gehen, dass dagegen dem Abirren von Strömen über die freie Oberfläche von Isolationsmaterialien verhältnismässig schwer zu steuern ist, muss man vor allen Dingen auf folgendes bedacht sein.

Die isolierenden Kappen an den Kollektorenden sollen so hergestellt werden, dass sie ohne Unterbrechung und ohne Trennstelle alle Biegungen am Kollektorende umziehen, dass sie mit anderen Worten ein geschlossenes Ganzes bilden und nicht aus Teilen zusammengesetzt werden. Am besten eignet sich aus diesem Grunde Micanit zu ihrer Anfertigung, während die Isolation innerhalb des Kollektors in seiner Mitte aus anderem Material, z. B. Pressspan, hergestellt werden kann. Stoffe wie Ambroin u. dergl. sind an dieser Stelle mehr als konstruktives wie als Isolationsmaterial zulässig.

Von hervorragender Wichtigkeit ist eine vorzügliche Sauberhaltung der Kollektoren im Betriebe, und damit dieselbe thatsächlich möglich ist, eine gute Zugänglichkeit derselben.

Grosses Augenmerk ist auch auf die Schmierung zu richten. Eine reichliche Schmierung ist erforderlich, damit die Lager nicht warmlaufen und sich nicht zu stark abnutzen. Dagegen ist das Fett, welches aus den Lagern etwa in den Anker eindringt, ein zu fürchtender Feind der Isolation, und zwar hauptsächlich deshalb, weil es Metallteile in verseifter Form gelöst enthält. Es ist aus diesem Grunde eine besondere Sauberkeit, öfteres Nachsehen und Abwischen vorgedrungenen Fettes notwendig; auch sollen die Schmiereinrichtungen, seien dieselben für konsistentes Fett oder Oel eingerichtet, nach Möglichkeit so disponiert sein, dass das Vordringen des Schmiermaterials nach dem wenn auch gut verkleideten Anker erschwert wird.

Die Schmierung der Zahnräder muss eine ausserordentlich reich-

liche sein und erfolgt am besten durch ein Gemisch von konsistentem Fett und Oel, welches noch gerade flüssig sein muss, damit das Schmiermittel nicht an die Wände geschleudert wird und dort hängen bleibt, anstatt fortwährend zwischen die Zähne zu fliessen. Zu empfehlen ist ferner die Anwendung eines aus Rücksicht auf Feuersgefahr mit Dampf gespeisten Schmelzofens für das unrein gewordene Fett. Verfährt man in dieser Weise, so kann man einen dauernd geräuschlosen Gang und geringe Abnutzung der Zahnräder erreichen.

Die Steuerapparate.

Es darf mit Recht behauptet werden, dass die Apparate, welche dem Wagenführer dazu dienen, die Geschwindigkeit des Wagens zu regulieren, zu den wichtigsten Bestandteilen der elektrischen Ausrüstung gehören. Zwei Gründe sind es, welche die Konstruktion besonders schwierig gestalten, einmal die Höhe der Spannung, welche fast immer oberhalb 500 Volt liegt, und dann die immerhin nicht unbeträchtlichen Leistungen, welche fortwährend einzuschalten, auszuschalten und zu modifizieren sind. Gilt dies schon von den gewöhnlichen Strassenbahnwagen, so wird die Erfüllung aller Anforderungen noch schwieriger, wenn Lasten in Frage kommen, wie sie der Beförderung von grossen schweren Zügen auf Vollbahnen entsprechen.

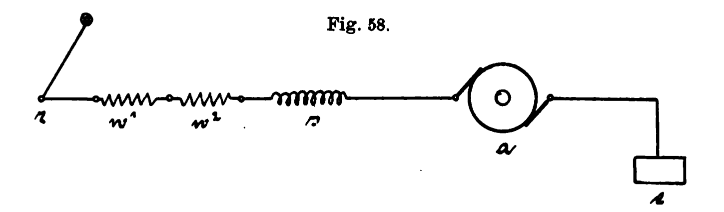
Es muss eingestanden werden, dass die Amerikaner, welche schon frühzeitig begonnen hatten, den elektrischen Betrieb auf Strassenbahnen einzuführen, die Spezialkonstruktionen für genannte Apparate sehr zweckmässig durchgebildet haben. Die amerikanischen Steuerapparate sind daher vielfach zum Vorbild für die deutschen Konstrukteure geworden, doch sind den bei uns errungenen Erfahrungen einige besondere Anordnungen und abweichende Durchbildung dieser wichtigen Organe zu verdanken.

Es soll im folgenden versucht werden, die Bedingungen, welchen die Steuerung in Bezug auf die Schaltung der Motoren und die ganze Handhabung zu entsprechen hat, in den Hauptgrundzügen zu erörtern.

Wir haben zunächst zu konstatieren, dass die angewandten Motoren (wie bereits erwähnt) im allgemeinen Hauptstrommotoren sind. Der einfachste Fall einer Schaltung wird daher durch das Schema Fig. 58 dargestellt. In derselben bedeutet a den Anker, s die Schenkelwickelung, während w_1 und w_2 Vorschaltwiderstände sind. Durch r ist die Stromzuführung schematisch als Rute mit Rolle und durch e die Verbindung zur Erde, d. h. zu den Schienen dargestellt. Das genannte Schema der Regulierung findet sich bei zahlreichen Fahrzeugen durchgeführt

und besitzt den Vorzug grösster Einfachheit. Die Regulierung erfolgt lediglich durch Abschalten der Widerstände w_1 und w_2. Es ist dieses diejenige Schaltung, welche sich nach dem Charakter der Hauptstrommotoren von selbst ergibt, und die den einzigen Nachteil besitzt, dass

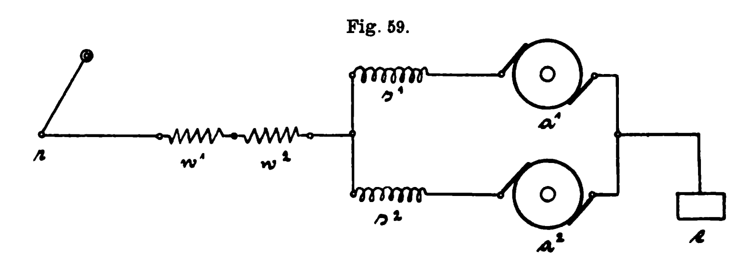
Fig. 58.



verschiedene Geschwindigkeiten nur durch Zuhilfenahme von Vorschaltwiderstand erzielt werden können.

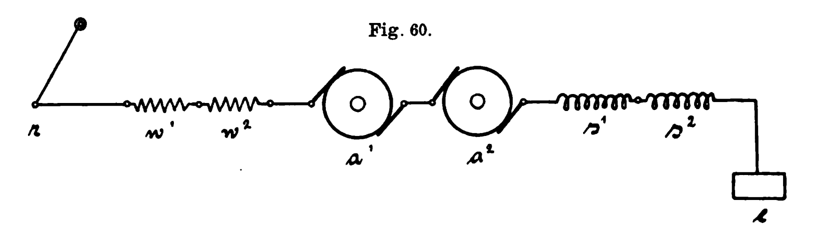
Einige Abweichungen von dem Schema Fig. 58 ergeben sich sofort, wenn anstatt eines Motors zwei oder mehrere verwendet werden.

Fig. 59.



In Fig. 59 ist der Fall angedeutet, dass zwei Motoren in gleicher Weise in Thätigkeit gesetzt werden, wie in dem Schema Fig. 58, jedoch ist eine naturgemässe Vereinfachung dadurch hervorgerufen, dass für beide parallel geschaltete Motoren ein gemeinsamer, aus den

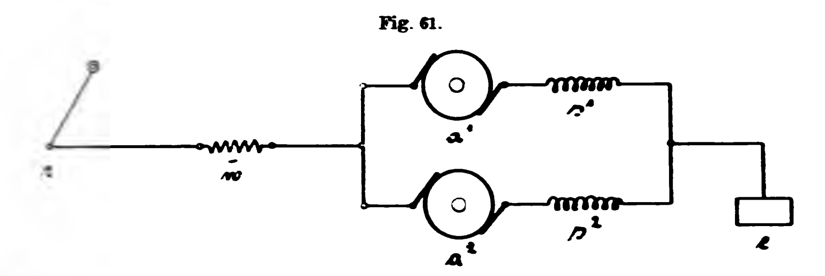
Fig. 60.



Teilen w_1 und w_2 gebildeter Vorschaltwiderstand benutzt worden ist, von welchem nacheinander die Teile w_1 und w_2 abgeschaltet werden. Auch diese Anordnung ist ausserordentlich einfach und funktioniert in derselben Weise, wie die vollkommen analoge Anordnung Fig. 58.

Sobald zwei Motoren verwendet werden, kann eine Vervollkommnung dadurch erreicht werden, dass man die beiden Hauptstrommotoren, obgleich dieselben für die volle Spannung gewickelt sind, von Anfang nicht sofort parallel, sondern zunächst hintereinander schaltet, wie dies in Fig. 60 angedeutet ist. Durch Abschalten der Vorschaltwiderstände kann man dann die Geschwindigkeit zunächst so weit erhöhen, als der Wirkung der halben Spannung für jeden Motor entspricht. Geht man hierauf zu der Parallelschaltung nach Fig. 61 über, indem man noch

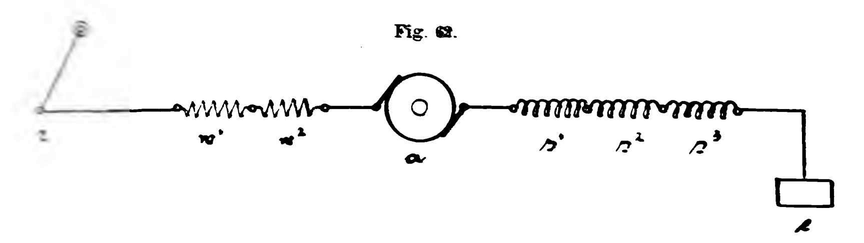
Fig. 61.



einen kleineren Widerstand w vorgeschaltet lässt, so wird die bei Schaltung Fig. 60 erzeugte geringe Geschwindigkeit allmählich, und zwar durch weiteres Abschalten von Widerstand so weit gesteigert, als der Wirksamkeit der ganzen Spannung auf die beiden Motoren zukommt.

Im Gegensatz zu der letztgenannten Methode, durch Aenderung der wirksamen Spannung mehrere Regulierstufen von prinzipieller Ver-

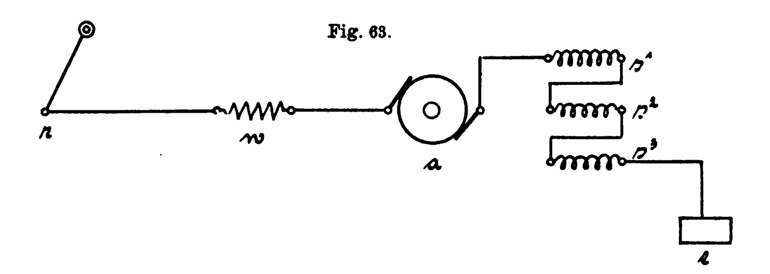
Fig. 62.



schiedenheit herzustellen, stehen diejenigen Anordnungen, welche bezwecken, die ihrer Grösse nach gegebene bestimmte Spannung in ihrer Wirksamkeit auf den Motor so zu beeinflussen, dass infolge Aenderung der magnetischen Eigenschaften desselben verschiedene Geschwindigkeiten erzeugt werden. Eine dieser Schaltungsarten deutet die Fig. 62 an. Dieselbe ist dadurch charakterisiert, dass die Magnetwickelung jedes Motors in mehrere gleiche Teile geteilt ist, welche nacheinander abgeschaltet werden, sobald die Vorschaltwiderstände w_1 und w_2 aus-

geschaltet sind. Da durch die Fortnahme eines Teils der Magnetwickelung die Ampèrewindungen verringert werden, nimmt hierbei der Magnetismus des Motors ab und seine Geschwindigkeit zu. Diese Methode hat den wesentlichen Nachteil, dass gerade, wenn die Geschwindigkeit eines Fahrzeuges, welches eine Steigung zu durchfahren hat, oder welches schwer belastet eine Horizontale durchfährt, gesteigert werden soll, und dabei naturgemäss die Stromstärke zunimmt, nur ein Teil des Wickelraumes ausgenutzt wird, während der übrige Teil von

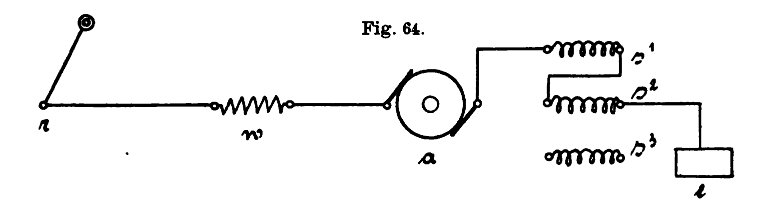
Fig. 63.



nutzlosen Drahtwindungen erfüllt ist. Aus diesem Grunde hat sich diese Schaltung nicht bewährt. Der Nutzen einer geringen Verbesserung der Oekonomie gegenüber der einfachen Anordnung Fig. 58 wird hierbei mit wesentlichen Nachteilen, insbesondere auch für die Haltbarkeit des Motors erkauft.

In anderer Weise kann man die Stärke der Magnetisierung modifizieren, wenn man die Magnetwickelung in mehrere Teile teilt,

Fig. 64.



dieselben aber in ihrer Gruppierung ändert. Dieses von Amerika übernommene Verfahren ist in den Figuren 63—66 dargestellt. Die Schenkelwickelung besteht hierbei aus drei gleichen Teilen s_1, s_2, s_3, welche zunächst hintereinander geschaltet werden, während dann einer dieser Teile aus dem Stromkreis ausgeschaltet, die übrig bleibenden hierauf parallel und zum Schluss alle drei Wickelungsabschnitte parallel zu einander in den Stromkreis eingeschaltet werden. Der Vorschaltwiderstand w dient hauptsächlich zum Anfahren und wird gleich nach demselben oder später ausgeschaltet. Diese nur „beispielsweise“ durch

die Figuren 63—66 dargestellte Schaltungsweise besitzt gegenüber der vorbeschriebenen den erheblichen Vorteil, dass bei der Schlussstellung Fig. 66 alle drei Wickelungsabschnitte gleichzeitig und in gleicher Weise ausgenutzt werden. Im Vergleich zu der Schaltung in Fig. 58 ist eine wesentliche Komplikation der Schalteinrichtung hinzugetreten.

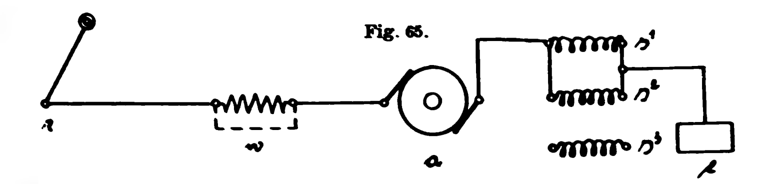


Fig. 65.

Noch in anderer und nicht nur bei Strassenbahnwagen, sondern auch bei stationären Motoren seit lange bekannter und üblicher Weise lässt sich eine Beeinflussung des Magnetfeldes bei dem Hauptstrommotor erreichen. Dieselbe ist in Fig. 67 wiedergegeben. Es wird

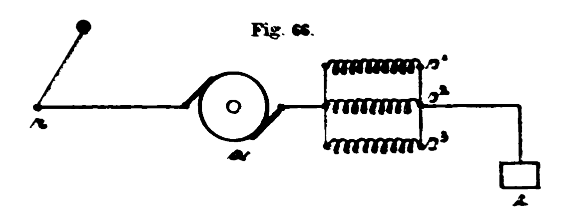


Fig. 66.

in diesem Fall parallel zu der Schenkelwickelung s ein Widerstand w_n geschaltet, welcher beispielsweise ebenso gross ist wie der Widerstand der Wickelung s und welcher demgemäss die Hälfte des Hauptstromes aufnimmt, sobald derselbe in der aus der Figur ersichtlichen Weise

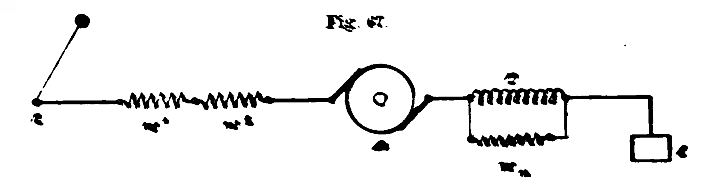
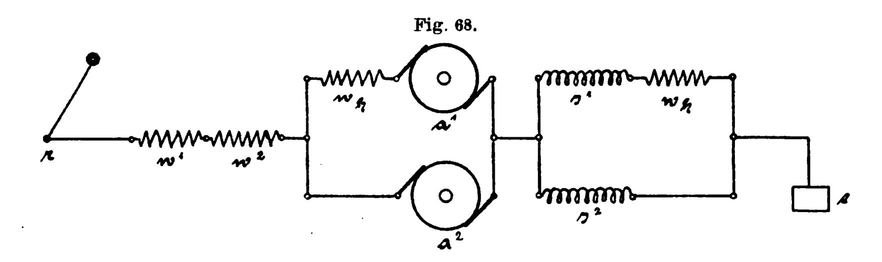


Fig. 67.

in Thätigkeit tritt. Man verfährt praktisch so, dass man zunächst den Stromkreis durch die Widerstände w_1 und w_2 schliesst, diese nacheinander abschaltet und zum Schluss w_n mit s in Kontakt bringt. Diese Anordnung besitzt eine gewisse Einfachheit und kann mit Vorteil dazu dienen, den Wirkungsgrad des Motors, welcher, wenn seine Magnetwickelung mit einem ziemlich schwachen Draht ausgeführt ist,

bei starker Beanspruchung mit einem wesentlichen Verlust an wirksamer Spannung arbeiten würde, eben bei dieser erhöhten Beanspruchung zu verbessern. Aus der Fig. 9 ist diese Verbesserung des Wirkungsgrades deutlich ersichtlich. Die Kurven stellen den Wirkungsgrad eines älteren Motors von 15—35 PS der Aktiengesellschaft Elektrizitätswerke (vorm. O. L. Kummer & Co.) dar, und zwar gilt Kurve a ohne den Parallelwiderstand w_n, Kurve b mit demselben. Es ist deutlich ersichtlich, wie der Wirkungsgrad des während der ge-

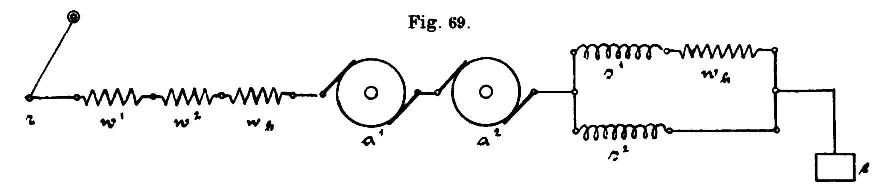
Fig. 68.



wöhnlichen Fahrt auf horizontaler Strecke mit wenigen Pferdestärken beanspruchten Motors bei stärkerer Beanspruchung verhältnismässig sich vergrössert, wenn der Widerstand w_n zugeschaltet wird. Während bei Kurve a der Wirkungsgrad für 35 PS nur 0,64 beträgt, ist derselbe bei Kurve b 0,78.

Es mag noch erwähnt werden, dass dieselbe Magnetschwächung wie in Fig. 67 dadurch erreicht werden kann, dass man, wie dies der Verfasser angegeben hat, den Parallelwiderstand w_n selbst als Teil der

Fig. 69.



Schenkelwickelung ausbildet, wobei dann durch diese Parallelschaltung gleichzeitig eine noch wesentlich höhere Verbesserung des Wirkungsgrades bei starker Beanspruchung erreicht wird, als durch die Anwendung des Widerstandes w_n. Besteht die Magnetwickelung aus zwei gleichen Hälften, so tritt, sobald dieselben anstatt hintereinander parallel geschaltet werden, eine Schwächung der Ampèrewindungen auf 50 % ein, wie in den früher gegebenen Kurven.

Die praktische Durchbildung der Steuerapparate für die Schaltungen Fig. 60 und 61 erfordert eine grosse Zahl von Kontakten, um

die Uebergänge zu erzielen. Eine Vereinfachung wird naturgemäss erreicht, wenn man bei Anwendung zweier Motoren die beiden Anker für sich und ebenso die beiden Schenkelwickelungen für sich parallel schaltet. Dies ist in dem Schema Fig. 68 geschehen, doch sind zwei kleine Widerstände w_h vorgesehen, welche folgenden Zweck haben. Schaltet man zwei Motoren, welche auf ein gemeinsames Triebwerk arbeiten, wie es bei Bahnwagen der Fall ist, parallel, so wird im allgemeinen infolge der Fabrikationsungleichheiten die Arbeitsleistung der beiden Motoren ungleich gross ausfallen. Aus diesem Grunde sind in dem Schema Fig. 68 die Hilfswiderstände w_h nach dem Verfahren des Verfassers angewendet, und zwar in nachbenannter Weise. Die Widerstände der Schenkelwickelungen s_1 und s_2 werden durch passende Wahl des beispielsweise vor s_1 geschalteten Widerstandes w_h abgeglichen bezw. modifiziert, während der beispielsweise vor a_1 geschaltete Hilfswiderstand die magnetischen Ungleichheiten und somit die Ungleichheit der auftretenden Stromstärken beeinflusst, so dass mit Hilfe beider Widerstände die beiden Motoren auf gleiche Wirksamkeit gebracht werden können.

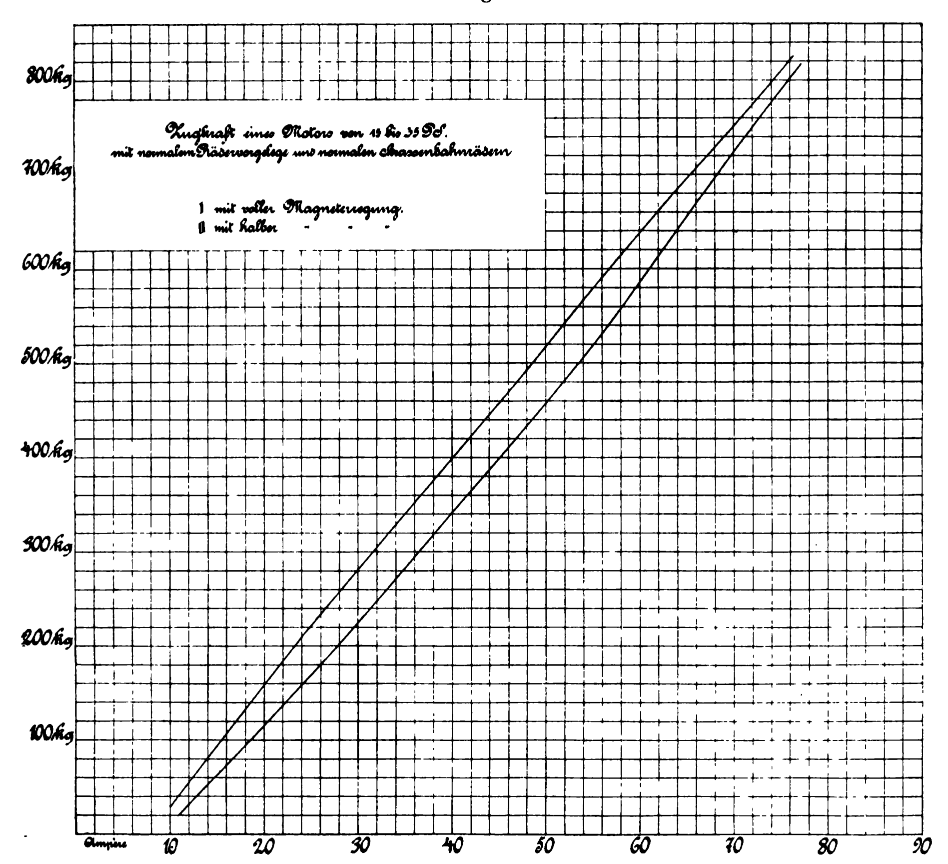
Beabsichtigt man bei dieser vereinfachten Schaltung das Anfahren unter Hintereinanderschaltung der Motorenanker zu bewerkstelligen, so ergibt sich hierfür die Konstellation, welche in Fig. 69 schematisch angedeutet ist. Es erscheint hierbei auf den ersten Blick als Nachteil, dass die Schenkelwickelungen wegen ihrer Parallelschaltung nur die Hälfte des Hauptstromes führen. Es soll daher eine kurze Betrachtung eingeschaltet werden über den Einfluss dieser Anordnung auf die Zugkraft.

Zu diesem Zweck ist in Fig. 70 die Zugkraft eines maximal 35pferdigen Motors dargestellt, wie dieselbe sich im Einklang mit den Eigenschaften gemäss der Darstellung Fig. 9 und derjenigen nach Fig. 8 aus Messungen an dem Motor ergibt. Die Ermittelung der Zugkraft mit voller Magneterregung liefert die Zugkraftkurve I in Fig. 70, während man bei halber Magnetisierungsstromstärke die Zugkraftkurve II findet. Aus den Kurven I und II ist zu ersehen, dass die Zugkraft bei halber Stromstärke in der Magnetwickelung nicht wesentlich geringer ausfällt als mit voller Stromstärke. Dieser Umstand beleuchtet die Thatsache, dass der Wert der Hintereinanderschaltung der Hauptstrommotoren von der üblichen Ausführung in der Hintereinanderschaltung lediglich der Anker, nicht aber derjenigen der Schenkel liegt.

Im übrigen ist zu bemerken, dass die Hintereinanderschaltung immer nur eine Anfangsstufe darstellt, die Hauptfahrt dagegen im allgemeinen mit Parallelschaltung ausgeführt werden soll.

Besondere Abweichungen kommen dann zu stande, wenn mit Hauptstrommotoren ausgerüstete Wagen zur Stromwiedergewinnung bei Thalfahrt benutzt werden sollen. In diesem Fall ist eine Einrichtung zu treffen, welche die Motoren befähigt, als Dynamos zu funktionieren. Nun sind aber die, wie oben festgestellt, für Strassenbahnbetrieb bei weitem geeignetsten Motoren, die Hauptstrommotoren,

Fig. 70.



an sich nicht befähigt, Strom zu erzeugen und diesen Strom zu verwerten.

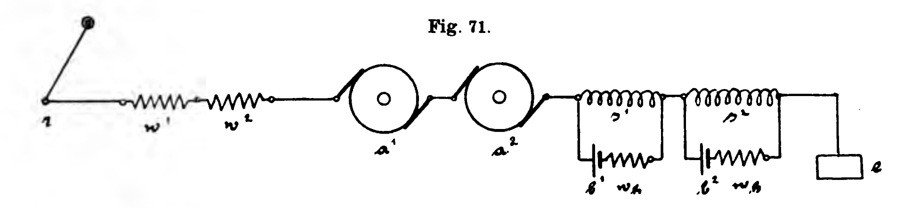
Der Verfasser hat eine Anordnung erdacht, welche dies ermöglicht. Dieselbe ist der Aktiengesellschaft Elektrizitätswerke (vorm. O. L. Kummer & Co.) patentiert und besteht in folgendem:

Im Motorwagen werden einige Akkumulatorenzellen einer kleinen transportablen Type untergebracht, welche während der Bergfahrt so

in den Hauptstrom mehr oder weniger direkt eingeschaltet werden, dass sie sich durch denselben laden. Bei der Thalfahrt wird der Anker des Motors an die Leitung (Oberleitung und Schienen) angeschlossen, die kleine Hilfsbatterie aber auf die Schenkelwickelung des Motors geschaltet. Hierdurch erhält der Motor (oder die Motoren) den erforderlichen Magnetismus und ist so befähigt, Strom zu erzeugen, der ohne weiteres nutzbar wieder in die Leitung geführt werden kann.

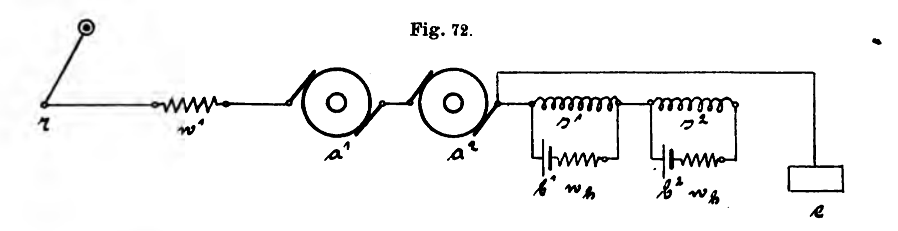
Eine Ausführungsart dieses Regulierungsverfahrens ist in Fig. 71

Fig. 71.



und 72 angedeutet. Die beiden Motoren sind mit ihren Ankern a_1 und a_2 und ihren Schenkelwickelungen s_1 und s_2 hintereinander geschaltet. Parallel zu jeder Schenkelwickelung befindet sich je eine kleine Akkumulatorenbatterie b_1 und b_2 nebst den Hilfswiderständen w_h, welche eine Beeinflussung des Ladestromes gestatten, welcher während der Bergfahrt nach Fig. 71 auftritt. Die Batterien funktionieren hierbei ähnlich wie in Fig. 67 der Widerstand w_n.

Fig. 72.



Sobald nun der Wagen auf der Höhe des Berges angelangt ist und bergab fahren soll, geht man auf die Stellung Fig. 72 über. Hierbei arbeiten die Motoren als Dynamos mit separater Erregung und liefern ihren Strom durch die Anker a_1 und a_2 in die Leitung.

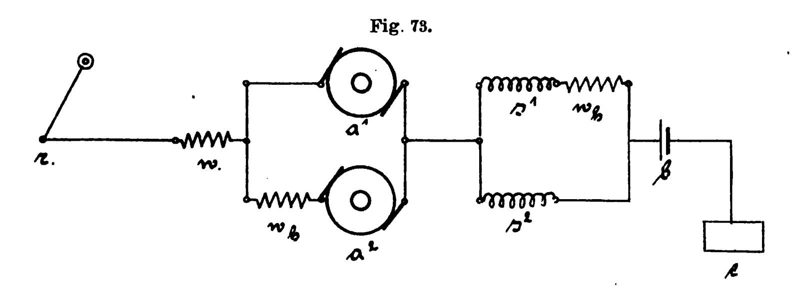
Die Schaltung lässt sich in sehr verschiedener Weise variieren, unter anderem durch Kombination mit dem in Fig. 68 und 69 dargestellten Verfahren. Dies ist durch die Figuren 73 und 74 beispielsweise angedeutet. Fig. 73 dient für die Bergfahrt bezw. Fahrt auf

der Horizontalen, während die Schaltung Fig. 74 bei der Thalfahrt in Wirksamkeit tritt. Die Hintereinanderschaltung der Anker in Fig. 74 bewirkt hierbei eine Mässigung der Geschwindigkeit, was beim Bergabfahren sehr wünschenswert erscheint.

In Bezug auf die Verwendung des bei der beschriebenen Einrichtung wiedergewonnenen elektrischen Stromes ist noch folgendes zu erwähnen.

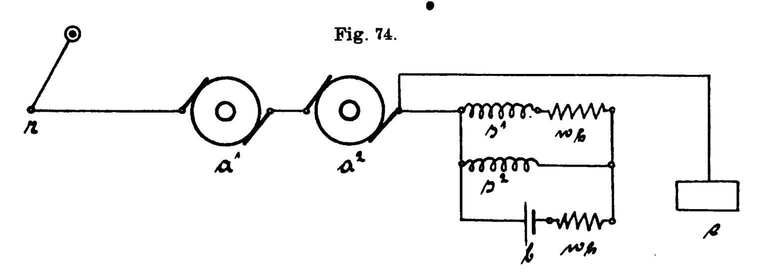
Arbeitet die Kraftstation mit einer Pufferbatterie, so ist es von

Fig. 73.



vornherein klar, dass der aus dem bergabfahrenden Wagen kommende rückgewonnene Strom, insoweit er nicht von den übrigen auf der Strecke befindlichen Wagen verbraucht wird, von der Pufferbatterie aufgenommen wird. Es ist dementsprechend in diesem Falle gleichgültig, ob ein oder mehrere Wagen gleichzeitig fahren. Ist dagegen

Fig. 74.



keine Pufferbatterie vorhanden, so muss man natürlich voraussetzen, dass stets ein gewisser Stromverbrauch auf der Strecke vorhanden ist oder dass doch die Zeiten der Stromlosigkeit sehr kurze sind, in welch letztgenanntem Fall durch den wiedergewonnenen Strom die Schwungmassen der Kraftstation eine ganz geringe Beschleunigung erfahren. Sind in einzelnen der Wagen Akkumulatorenbatterien für automobile Fahrt enthalten, so werden diese durch den wiedergewonnenen Strom geladen, wie sie ja auch stets in gewissem Grade als Pufferbatterie wirken.

Der Nutzen der Stromwiedergewinnung ist in mehreren Beziehungen zu konstatieren, vorausgesetzt, dass die Einrichtung auf einer Bahn mit starken Steigungen verwendet wird. Der Stromverbrauch der Bahn verringert sich und demgemäss auch die Unkosten für den Strom, welche, wenn derselbe aus einer fremden Kraftstation gegen Bezahlung bezogen wird, eine sehr wesentliche Ausgabe bilden. Erzeugt derjenige, welcher die Bahn betreibt, sich selbst den Strom, und sind überdies die Kohlen sehr billig oder arbeitet die Station mit Wasserkraft, so sind diese direkten Ersparnisse weniger wesentlich. Der Nutzen der Einrichtung macht sich aber dann sehr bemerkbar, wenn die Verringerung der gesamten Stromlieferung gerade bewirkt, dass man z. B. mit einem Maschinensatz auskommen kann, während andernfalls zwei Maschinenaggregate laufen müssten.

Ein Vorteil, welcher stets ins Gewicht fällt, ist der, dass das mechanische Bremsen bei der Thalfahrt unnötig und mit demselben der sehr erhebliche Verschleiss an Radreifen und an Bremsklötzen beseitigt wird, wodurch die laufenden Ausgaben für diese Teile, die bei Bahnen in unebenem Gelände eine Rolle spielen, wesentlich vermindert werden; denn es ist klar, dass bei mechanischer Bremsung die dabei verlorengehende Energie, da die Wattstunden nicht wieder gewonnen werden, zur Zerstörung des Bremsmaterials aufgebraucht wird. Die beschriebene Einrichtung hat den Vorzug, bei jeder beliebigen Steuerungseinrichtung Anwendung finden zu können, sie reguliert bei der Thalfahrt selbstthätig die Stromstärke beziehungsweise den erforderlichen Bremsgrad und verhindert so ein Durchgehen der Wagen, wenn dieselben bergab fahren. Sie kann gleichzeitig zur Bethätigung einer elektrischen Notbremsung dienen und hat hierbei die nützliche Eigenschaft, den Wagen bis zum vollkommenen Stillstand und ausserdem auch rückwärts zu bremsen, eine Eigenschaft, die der gewöhnlichen Kurzschlussbremse vollkommen fehlt. Der letztgenannte Umstand hat zur Folge, dass man bei gewöhnlichen Motorwagen, wenn auf ansteigender Strecke gehalten werden muss und hierbei die Handbremse versagt oder nicht ausreicht, sich auch durch Einschaltung der Notbremse nicht helfen kann und man, wenn der Fahrstrom z. B. infolge eines Defektes der Rute nicht funktioniert, solange ausser stande ist, das Rückwärtslaufen zu verhindern, bis man die Steuerung auf Rückwärtsfahrt umgeschaltet hat, was in mehrfacher Beziehung sowohl durch Zeitverlust als auch für das Weiterfahren von erheblichem Nachteil ist. In dieser Beziehung ist daher die Wirkung der erwähnten Bremse von Wert.

Die praktische Ausführung der Steuerung.

Die ersten Versuche, elektrische Bahnen zu bauen, lehnten sich bezüglich der Konstruktion der Schalteinrichtung naturgemäss an die gewöhnlichen Motorenbetriebe an. Da auch die Spannung damals noch nicht die Grösse besass, welche sich jetzt allgemein eingebürgert hat, so genügte zum Einschalten der Motoren ein gewöhnlicher Anlasswiderstand. Mit der Zeit erkannte man jedoch, dass die Anforderungen im Bahnbetriebe andere sind als bei stationär angebrachten Kraftübertragungen, und in dieser Beziehung sind es die Amerikaner, welche die Verhältnisse frühzeitig richtig erkannt und zweckmässige Apparatkonstruktionen durchgebildet haben. Mit der Entwickelung der Bahnen in Deutschland ist auch eine Vervollkommnung der Steuerung Hand in Hand gegangen, die zu Einrichtungen geführt hat, welche allen berechtigten Anforderungen gewachsen sind, so dass die deutschen Fabrikate in dieser Beziehung mustergültig sind.

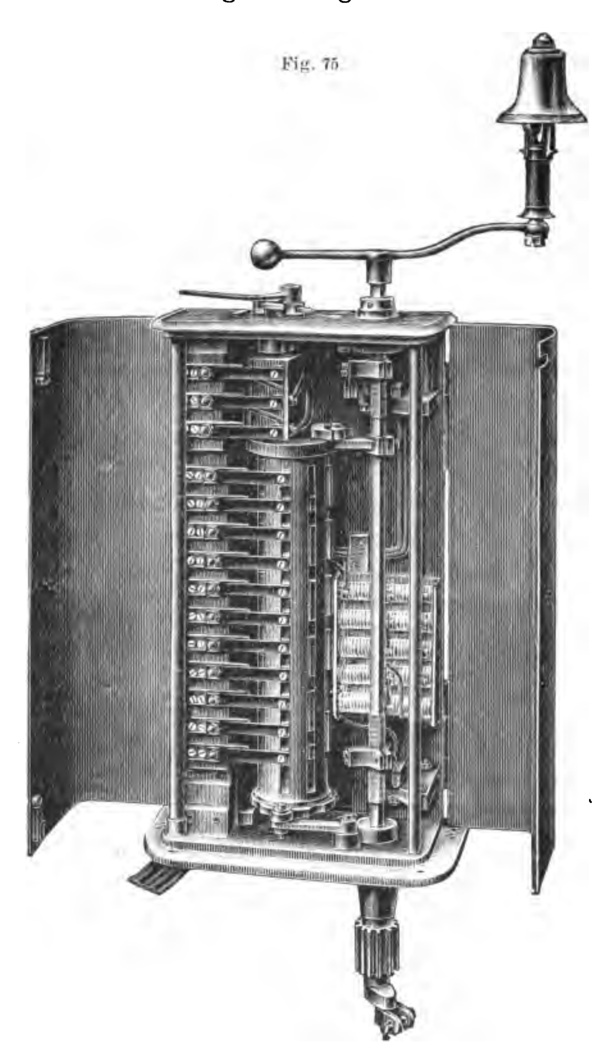
Wir wollen an dieser Stelle an der Hand von mehreren Konstruktionen der Aktiengesellschaft Elektrizitätswerke (vormals O. L. Kummer & Co.), welche überdies noch gewisse Eigenheiten besitzen, die allgemeinen Grundsätze, zu deren Erläuterung die abgebildeten Apparate geeignet sind, besprechen.

Eine Hauptschwierigkeit besteht, wie erwähnt, in der Höhe der Spannung und den dabei nicht unbedeutenden Energiemengen. Ein Schaltapparat, der 70 PS unter den ungünstigen Spannungsverhältnissen und den noch ungünstigeren örtlichen Bedingungen regeln muss, welche die Verwendung im Bahnbetriebe mit sich bringt, stellt zweifellos besondere Anforderungen an die richtige Erkenntnis des Notwendigen, wenn wir auch zu jetziger Zeit konstatieren müssen, dass wirkliche Schwierigkeiten für den Konstrukteur nicht mehr bestehen, vielmehr es gelungen ist, mit einfachen Hilfsmitteln den Zweck zu erreichen.

Die Höhe der Spannung bewirkt, dass der beim Ausschalten zwischen den Kontakten entstehende Lichtbogen besonders gross ausfällt, und dass derselbe Neigung zeigt, nach benachbarten Metallteilen eventuell unter Vermittelung von schlecht isolierenden Oberflächen hinüberzuschlagen. Das einfachste Mittel, die hierin bestehende Gefahr, welche in der hohen Spannung bedingt ist, zu beseitigen, liegt sehr nahe und wird jetzt vielfach, fast immer, angewendet. Es besteht darin, die zwischen zwei Kontakten bei ihrer Trennung auftretende Spannung dadurch zu verringern, dass man nicht die ganze Spannung,

sondern nur einen Teil derselben an der Unterbrechungsstelle wirken lässt. Man erreicht dies einfach dadurch, dass man mehrere Trennstellen hintereinander schaltet, mit anderen Worten, indem man den Strom an mehreren Stellen gleichzeitig unterbricht.

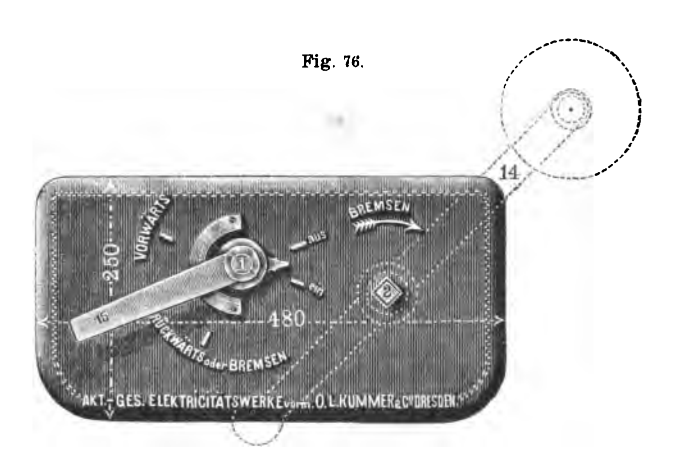
Fig. 75.



Die Aufgabe, das Verbrennen der Kontakte beim Ausschalten zu verhindern, kann in verschiedener Weise gelöst werden. Abgesehen von der günstigen Wirkung der bereits erwähnten mehrfachen Unterbrechung kann man die Stromunterbrechung selbst beschleunigen. Es liegt nahe, sogen. Momentausschalter zu konstruieren, da deren Durchbildung aber im vorliegenden Falle auf gewisse Schwierig-

keiten stösst, die in der Art der Handhabung der Apparate liegen, so hat man mit Vorliebe zu einem anderen Hilfsmittel gegriffen, nämlich der gewaltsamen Fortbewegung des entstehenden Lichtbogens unter dem Einfluss eines magnetischen Feldes. Jeder stromdurchflossene Leiter bewegt sich, wenn er sich in einem magnetischen Felde befindet und nicht befestigt ist, fort. In unserem Fall ist der Strom der Lichtbogen und das magnetische Feld kann durch einen permanenten oder durch einen Elektromagneten erzeugt werden. Man hat dabei nur dafür zu sorgen, dass der Lichtbogen nicht an eine unrichtige Stelle geblasen wird. Dies lässt sich durch Anbringung von isolierenden Stücken, z. B. in Form von Zwischenwänden, erreichen.

Fig. 76.



Derartige Einrichtungen sind in den Abbildungen Fig. 75, 76, 77 und 78 wiedergegeben.

Auch durch Wahl besonderer Stoffe für die Kontakte kann die Funkenlöschung erleichtert, oder richtiger, ihre schädliche Wirkung auf die Kontakte vermindert werden. Aus diesem Grunde benutzte z. B. die Siemens & Halske Aktiengesellschaft früher in ihren Apparaten Kohlenkontakte, welche unter der Einwirkung der Lichtbogenhitze nicht schmelzen, sondern allmählich abbrennen und ausgewechselt werden können.

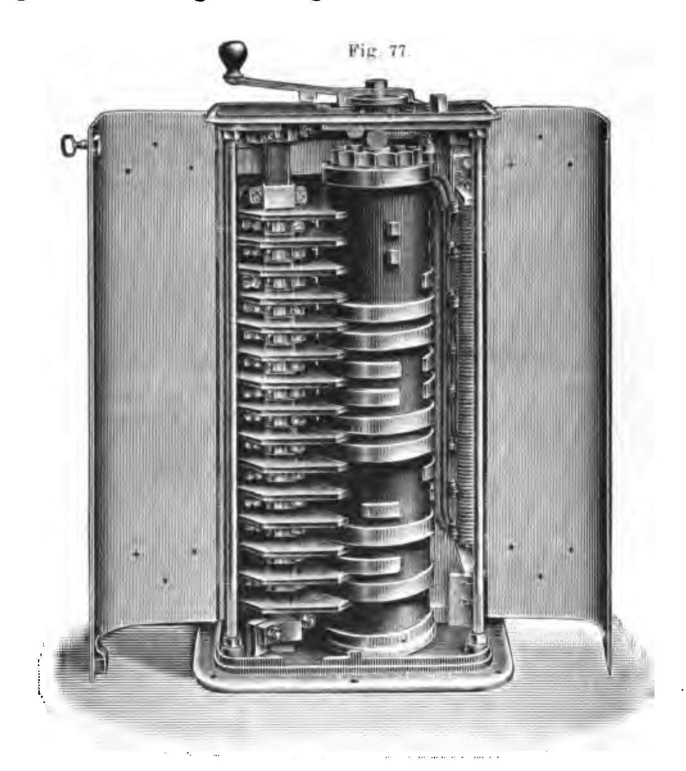
Die Anwendung von Blasmagneten findet sich hauptsächlich bei den amerikanischen Konstruktionen, während es aber unter denselben auch einzelne gibt, welche ohne dieses Hilfsmittel arbeiten.

Gelegentlich der früheren Erörterung der Schaltungsschemata haben wir gesehen, dass bei einigen derselben der Reihe nach verschiedene Gruppierungen der zu schaltenden Bestandteile vorzunehmen sind; insbesondere in der Weise, dass die Motoren erst hintereinander

und dann parallel geschaltet werden. Man kann diese Umschaltung von der eigentlichen Ein- und Ausschaltung vollständig trennen, indem man für dieselbe einen besonderen Schaltmechanismus anbringt.

Zurückkehrend zu den Figuren 75—78 können wir aus denselben die Hauptteile derartiger Schalteinrichtungen ersehen. Der ältere Apparat der Aktiengesellschaft Elektrizitätswerke vorm. O. L. Kummer & Co. Fig. 75 und 76 bietet noch die besondere Eigentümlichkeit, dass mit der Hauptsteuerkurbel gleichzeitig die mechanische Bremse des Wagens

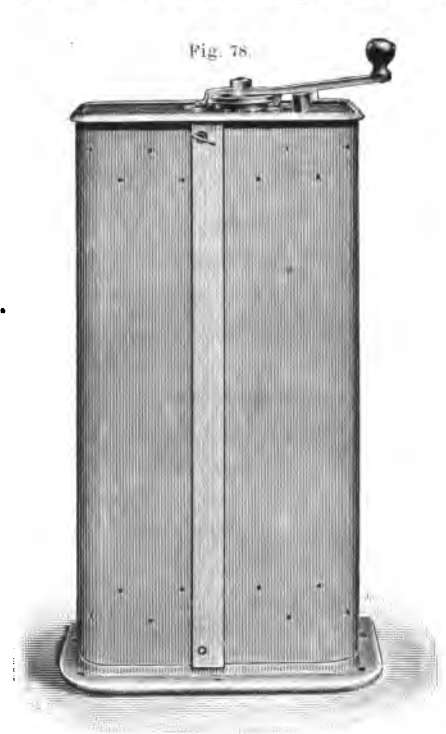
Fig. 77.



verbunden ist. Dies wird dadurch erreicht, dass die Achse dieser rechts ersichtlichen Kurbel durch ein am unteren Ende angebrachtes kleines Zahnrad in ein Zahnsegment eingreift, welches die Bremse in Thätigkeit setzt. Nach Lösung derselben findet durch die Umdrehung der Achse ein Eingriff in einen besonderen funkenlöschenden Stromschliesser statt, welcher in Fig. 75 links oben zu erblicken ist, und durch Weiterdrehung der Achse bezw. Kurbel ein allmähliches Ausschalten des Vorschaltwiderstandes. Die erwähnten verschiedenen Schaltungen, Hintereinander- und Parallelschaltung, werden durch Verstellung des links erkennbaren Handgriffes hergestellt, und zwar kann

dieser Hebel nur dann gehandhabt werden, wenn der Strom durch die Hauptkurbel ausgeschaltet ist. Behufs Erzielung der verschiedenen Gruppierungen sind links von oben nach unten eine Reihe von Kontakten angebracht. Bei Drehung des linken Handgriffes werden mit Hilfe einer durch denselben gedrehten Kontaktwalze, welche eine Reihe von metallenen Gleitflächen besitzt, die fest angebrachten Kontakte in verschiedene Verbindung miteinander gebracht. Es sind die Stellungen möglich: Vorwärts hintereinander, Vorwärts parallel und Rückwärts oder Bremsen. Letztgenannte Stellung wirkt bei Drehung der Hauptkurbel gegen den Uhrzeiger als Rückwärtsfahrstellung, bei Drehung der Kurbel mit dem Uhrzeiger dagegen als Kurzschlussbremse. Es mag noch darauf hingewiesen werden, dass auf der Hauptkurbel gleichzeitig die Signalglocke angebracht ist, wie dies aus Fig. 75 und 76, welch letztere den Grundriss darstellt, ersichtlich ist.

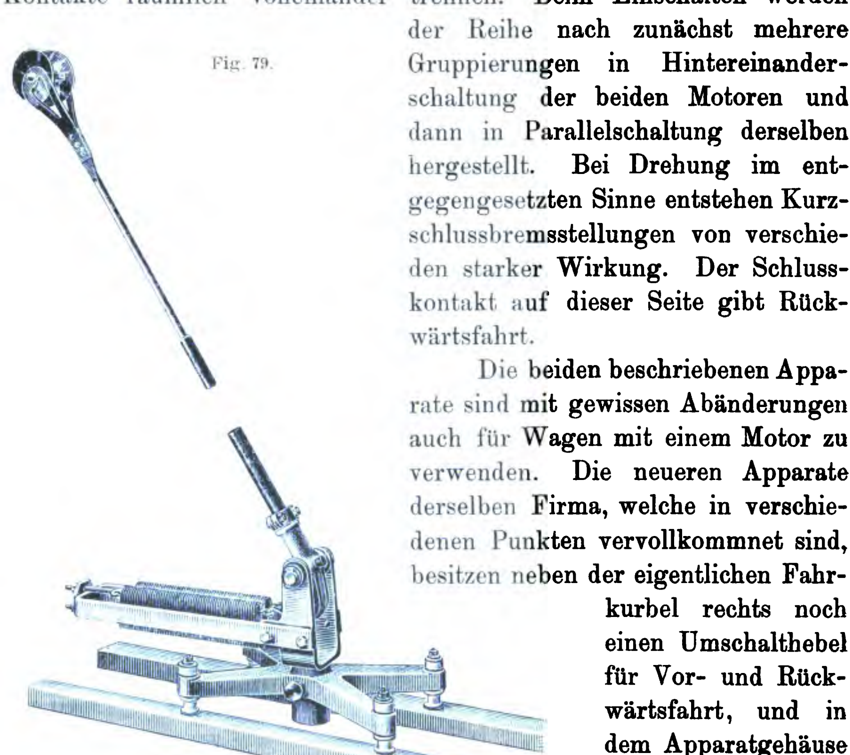
Fig. 78.



Abweichend von der beschriebenen Schalteinrichtung ist der neuere Steuerapparat derselben Firma Fig. 77 und 78. Derselbe besitzt nur eine Kurbel und arbeitet von der mechanischen Bremse vollständig getrennt. Er besteht in der Hauptsache aus einer Schaltwalze, welche in ähnlicher Weise mit Hilfe des Handgriffes gedreht wird, wie die links befindliche in Fig. 75. Ebenso wie bei jener ist hier eine Reihe von Kontakten angeordnet, welche links auf einen eisernen Stab isoliert aufgereiht sind, und welche durch die Metallschleifstücke der Schaltwalze miteinander in verschiedene Verbindung gebracht werden. Da dieser Steuerapparat nur eine Kurbel besitzt und demgemäss hier im Gegensatz zu dem Apparat in Fig. 75 die Schaltwalze nicht nur zur Gruppierung, sondern auch gleichzeitig zum Ein- und Ausschalten dient, so ist innerhalb des Hohlraumes der Walze in ihrer ganzen Länge ein Elektromagnet angeordnet, welcher

von einer durch den Hauptstrom durchflossenen Spule erregt wird. Eine Reihe von Ansätzen desselben erstrecken sich nach den Stellen zu, an denen der Strom unterbrochen wird, und bewirken so die Funkenlöschung. Um ein Ueberschlagen der entstehenden Lichtbogen zu verhindern, sind zwischen den links aufgereihten Kontakten entsprechend viele Scheiben aus Isoliermaterial angeordnet, welche die Kontakte räumlich voneinander trennen. Beim Einschalten werden der Reihe nach zunächst mehrere Gruppierungen in Hintereinanderschaltung der beiden Motoren und dann in Parallelschaltung derselben hergestellt. Bei Drehung im entgegengesetzten Sinne entstehen Kurzschlussbremsstellungen von verschieden starker Wirkung. Der Schlusskontakt auf dieser Seite gibt Rückwärtsfahrt.

Fig. 79.



Die beiden beschriebenen Apparate sind mit gewissen Abänderungen auch für Wagen mit einem Motor zu verwenden. Die neueren Apparate derselben Firma, welche in verschiedenen Punkten vervollkommnet sind, besitzen neben der eigentlichen Fahrkurbel rechts noch einen Umschalthebel für Vor- und Rückwärtsfahrt, und in dem Apparatgehäuse eine weitere Schalteinrichtung, um bei Defektwerden eines Motors denselben auszuschalten. — Da die Hauptprinzipien, welche bei den Steuerapparaten elektrischer Wagen zu befolgen sind, bei den Einrichtungen Fig. 75—78 in typischer Weise zum Ausdruck kommen, mag an dieser Stelle von dem Eingehen auf die Beschreibung der Konstruktionen anderer Firmen abgesehen werden, bei welchen sich ähnliche Formen und Verhältnisse wiederfinden.

Ausser den Motoren und Steuerapparaten ist als wichtiger Bestandteil der elektrischen Ausrüstung die Stromabnahmeeinrichtung zu erwähnen, welche, für gewöhnlich auf dem Dache des Wagens an-

gebracht, dazu dient, der elektrischen Einrichtung, d. h. den Motoren etc. den Strom zuzuführen. Dieselbe besteht in einer beweglichen Rute oder einem Bügel, welche gegen den Fahrdraht sich anlehnen und zu diesem Zweck auf dem Wagendach unter Vermittelung eines federnden Gestelles befestigt sind. Ein Beispiel eines solchen gibt Fig. 79. Dasselbe gehört einer Rutenkonstruktion an, welche mit Hilfe einer Rolle den Kontakt am Fahrdraht herstellt.

An Nebenapparaten sind noch zu erwähnen: Bleisicherungen und automatische Ausschalter, welche den Strom, wenn er zu stark wird, unterbrechen, ferner Beleuchtungs- und Blitzschutzeinrichtungen und dergleichen.

Die elektrische Heizung.

Ebenfalls als Nebenapparat ist die elektrische Heizung aufzufassen. Für diesen Zweck sind in Amerika verschiedene Modelle von Widerständen in Gebrauch, doch hat sich diese Einrichtung in Deutschland wenig eingebürgert.

Die Versuche, welche der Verfasser vor ca. 6 Jahren hierüber anstellte, haben ergeben, dass ein Aufwand von ca. 2000 Watt pro Wagen als zweckmässig zu bezeichnen ist, und dass bei geschlossenen Wagenthüren die Temperaturerhöhung über die äussere Umgebung etwa 17° beträgt. Es ist zwar ganz selbstverständlich, aber nicht zu übersehen, dass die Form der Widerstände vollkommen gleichgültig ist, denn die Wärmemenge ist unter allen Umständen dem Wattaufwand proportional. Es ist jedoch notwendig, dass die Widerstände an einem geeigneten Platz untergebracht werden. Dieselben dürfen keinenfalls ohne weiteres unter den hölzernen Sitzbänken plaziert werden, denn diese würden dabei leiden, und die Wärmeabfuhr würde behindert werden. Vielmehr ist ein durch Metall etc. hergestellter Abschluss nach den Wagenwänden und Bänken hin notwendig; nach vorn dagegen, d. h. nach dem Wageninnern zu darf höchstens ein Abschluss durch perforiertes Blech erfolgen.

Die Kosten des elektrischen Heizens sind, wenn der Strom pro Kilowattstunde bezahlt wird und sein Preis 12—15 Pfennig beträgt, wie in einzelnen Städten, erheblich. Gehört dagegen die Zentrale demselben Besitzer, wie der Betrieb, so ist die Ausgabe für Heizung gering zu veranschlagen, ganz besonders, wenn die Kohlen billig sind. Man muss nämlich bedenken, dass alle Verluste in Kesseln und Maschinen bereits ohnehin gedeckt sind; die Mehrabgabe an Kilowattstunden bei dem vorhandenen Maschinenbetrieb, der, weil der Verkehr

im Winter geringer ist als im Sommer, dabei keine Vergrösserung erleidet, ruft nur einen geringen Mehrverbrauch an Dampf und besonders Kohlen hervor. Diese Thatsache geht deutlich hervor aus der Betrachtung der im späteren gegebenen Daten für Dampfverbrauch von Maschinen bei verschiedenem Ausnutzungsgrade. Die wirklichen Ausgaben für elektrische Heizung sind aus dem Grunde so gering, dass dieselben diejenigen gewöhnlicher Heizung, z. B. mit Briquetts, welche Bedienung und Personal für Ausgabe derselben etc. bedingen, nur unwesentlich übersteigen. Es spricht dabei der Umstand mit, dass die Heizung keineswegs dauernd einzuschalten ist.

Da die Erwärmung der Strassenbahnwagen besonders bei Ueberlandlinien vom Publikum verlangt werden kann und jedenfalls sehr freudig begrüsst wird, ist der elektrischen Heizung eine weitgehende Anwendung zu wünschen.

Die Geleise.

In Bezug auf die Geleiseanlage sind hauptsächlich zwei Fälle zu unterscheiden. Der erste ist dadurch gekennzeichnet, dass die Schienen freiliegen und so jede Rücksicht auf den Zustand sowie Unterhaltung der Erd- bezw. Strassenoberfläche und umgekehrt auf ihren Einfluss in Bezug auf die Durchbildung der Räder wegfällt.

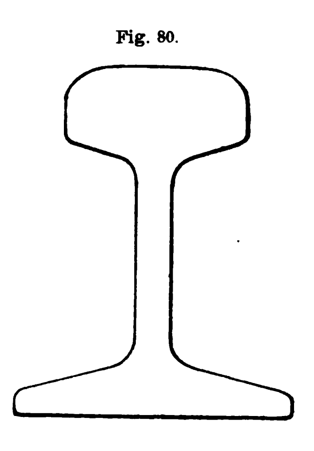
Diese Anlagen sind bei Eisenbahnen im eigentlichen Sinne zu finden, und sowohl seit langer Zeit in Gebrauch, als auch technisch auf Grund reichlicher Erfahrung vervollkommnet.

Im Gegensatz hierzu stehen diejenigen Geleiseanlagen, bei denen alle die genannten Rücksichten erforderlich sind, weil die Schienen in die Strassenoberfläche eingebaut werden müssen.

Wenden wir uns zunächst der Betrachtung der Eisenbahnschienen zu, so finden wir als hauptsächliches Merkmal derselben, dass diese sogen. Vignolschienen eine verhältnismässig einfache Konstruktion aufweisen, und dass das Profil durch Anbringung eines kompakten Schienenkopfes mit mehr oder weniger abgerundeter oder ebener Lauffläche, sowie eines breiteren, unten flachen Fusses, der mit dem Schienenkopf durch einen schmalen Steg verbunden, gekennzeichnet ist (Fig. 80). Die einzelnen Schienen werden durch Laschen miteinander vereinigt, die seitwärts angebracht und vermittelst starker, hindurchgehender Schraubenbolzen befestigt werden. Die Verlegung erfolgt auf hölzernen Querschwellen in der Weise, dass die Schienen eine geringe Neigung nach innen (von beispielsweise 5 %) aufweisen; bisweilen auch auf eisernen Quer- oder Längsschwellen.

Vermöge der grossen Zahl von Querschwellen und des Umstandes, dass dieselben bequem unterstopft werden können, erhält ein derartiges Geleise grosse Festigkeit, so dass es im stande ist, erhebliche Lasten ohne Nachteil zu tragen. Die Laufflächen der Räder können innerhalb weiter Grenzen beliebig breit hergestellt werden, auch ist man in der Lage Spurkränze von erheblichen Dimensionen zu verwenden. Die Möglichkeit die freiliegenden Schienen in Kurven zu überhöhen, bietet ferner den Vorteil, dass das Durchfahren der Kurven auch bei grösseren Geschwindigkeiten in sanfter Weise erfolgt.

Fig. 80.



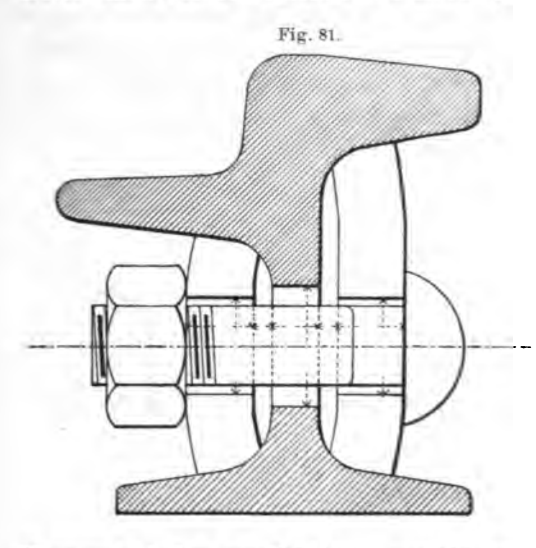
Wesentlich anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn man gezwungen ist, die Geleise in Fahrstrassen einzubetten. Hiermit ist die völlige Bewegungsfreiheit in der Wahl der Konstruktion genommen, und man wird gezwungen, die Form und Lagerung der Schienen den Strassenverhältnissen anzupassen; denn die Fälle sind sehr selten, in welchen es als zulässig erachtet wird, freiliegende Vignolschienen auf Fahrstrassen anzuordnen, wie dies auf eigenem Bahnkörper zu geschehen pflegt.

In früheren Zeiten hat man wiederholt die Anordnung in der Weise getroffen, dass man dieselben Schienen, die man sonst freiliegend zu verwenden gewohnt war, in ähnlicher Weise, jedoch so anbrachte, dass dieselben in das Strassenniveau eingebettet waren. Dabei machte es sich allerdings notwendig, für den Spurkranz innerhalb der Geleise Raum zu schaffen und so die Strasse an dieser Stelle passend zu vertiefen. Eine derartige Anordnung hat den grossen Nachteil, dass der Wagenverkehr behindert wird, indem die Wagenräder an den Schienen streifen und der Uebergang schräge über die Geleise erschwert wird.

Dieser Umstand hat in Amerika dazu geführt, Nasenschienen zu verwenden, d. h. solche, an deren Kopf seitlich eine nasenartige Fläche angebracht ist, welche das Pflaster oder die Schotterung von dem Spurkranz der Räder fernzuhalten hat. Das in Fig. 81 dargestellte Profil No. 1 der Gesellschaft für Stahlindustrie in Bochum repräsentiert uns die genannte Art von Schienen. In Deutschland hat das Nasenschienensystem wenig Eingang gefunden, vielmehr ist man hier fast allgemein zur Durchbildung sogen. Rillenschienen (Fig. 82) übergegangen, bei welchen neben der Lauffläche eine weitere schmale

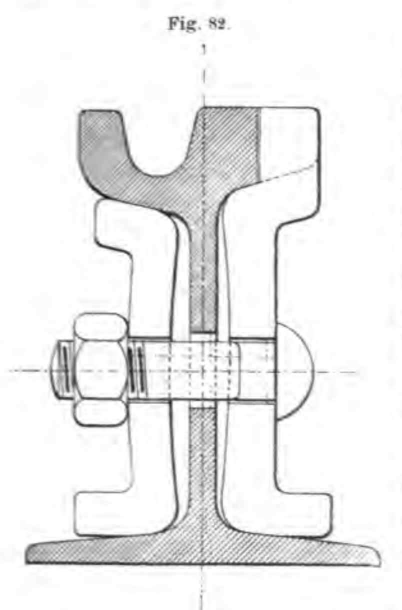
Kante derart angeordnet ist, dass zwischen beiden eine Rille entsteht. Bettet man solche Schienen in Pflaster oder Chaussierung ein, so kann die Strassenoberfläche überall gleichmässig durchgeführt werden und es verbleibt nur die schmale Rille als einzige Unterbrechung; diese aber hindert den Wagenverkehr nicht.

Fig. 81.



Die Rillenprofile sind wesentlich schwerer herzustellen als Vignolgeleise, bilden jedoch nach dem heutigen Stande der Entwickelung des Bahnwesens die einzige Möglichkeit, den Anforderungen der Wegeunterhaltungspflichtigen gerecht zu werden, soweit es sich um bebaute, besonders städtische Strassen handelt.

Fig. 82.



Die Einbettung der Schienen hat zur Folge, dass die Geleise sich der Strassenoberfläche vollkommen anschmiegen müssen und demgemäss auf manchen Vorteil, der bei freiliegenden Schienen möglich ist, verzichtet werden muss; die Ueberhöhung in den Kurven muss fortfallen, die beiden Schienen dürfen nicht in gleicher Höhe liegen aus Rücksicht auf die Strassenneigung, der sanfte Lauf in den Kurven hört auf, auch zwingt in mancher anderen Beziehung die in Rede stehende Anordnung zu Rücksichten. Die Folge davon ist, dass auch die Fortbewegungsverhältnisse, insbesondere die Zugkräfte anders ausfallen als bei Eisenbahnen. Die Bandagen müssen ebenso breit, jedenfalls nicht viel breiter sein als die Laufflächen der Schienen, die Spurkränze müssen klein dimensioniert werden aus Rück-

sicht auf die Rille. — Obgleich die Eisenbahngeleise von viel grösseren Lasten befahren werden als die Strassenbahnen, ist man bei den letztgenannten zu immer schwereren Profilen übergegangen, und zwar in so weitgehendem Masse, dass die jetzt üblichen Strassenbahngeleise weit schwerer sind als im allgemeinen die Eisenbahngeleise.

Viele Eisenbahnen verwenden Profile von 22—26 kg Schienengewicht pro Meter, und nur grosse Hauptbahnen weisen Gewichte von 36 und mehr kg pro Meter auf. Demgegenüber wiegen die in den Grossstädten gebräuchlichen Strassenbahnschienen meist über 40 kg und besitzen dabei sehr schwere Laschenkonstruktion.

In Bezug auf die Durchbildung der Rillenschienen müssen diejenigen Schienen, welche Rillenschienen im eigentlichen Sinne des Wortes sind, unterschieden werden von denjenigen, bei denen die Rille durch eine besondere seitwärts angebrachte Zwangsschiene gebildet wird.

In sehr umfangreicher Verwendung sind die Schienen der Aktiengesellschaft Phönix in Laar bei Ruhrort, welche den eigentlichen Rillenschienen zuzurechnen sind. Dieselben werden in verschiedener Ausführung in Bezug auf Form und Gewicht hergestellt.

Kleinere Profile als 7a im Gewichte von 33,5 kg pro Meter Schiene und ca. 74—77 kg pro Meter komplettes Geleise werden kaum verwendet.

Die Neigung des modernen Strassenbahnbaues geht vielmehr dahin, die grösseren Schienenprofile, z. B. 14a, 14c, 14e, 17b oder 25a zu verwenden, welche Gewichte von 94 bis gegen 100 kg pro Meter Geleise repräsentieren.

Die Profile 14 zeichnen sich durch breite Laufflächen zu beiden Seiten der Rille aus und sind deswegen für den Fuhrwerksverkehr besonders geeignet, auch gestattet die Bauart ein gutes Anpassen der Pflastersteine. 14c besitzt Halbstoss und 14e ausserdem Fusslaschen.

25a zeichnet sich durch hohe Stege aus und demgemäss grosse Festigkeit in der vertikalen Richtung, dagegen wird durch letztgenanntes Profil die Pflasterung in grösserer Tiefe beansprucht. Es liefert eine vorzüglich dauerhafte Geleiseanlage.

Aehnliche Rillenschienenprofile wie von „Phönix“ werden von der Gesellschaft für Stahlindustrie in Bochum, insbesondere in den Profilen 24 und 26a, entsprechend den vorgenannten schweren Phönixprofilen, hergestellt.

Ebenfalls ähnliche Profile liefert der Hörder Bergwerks- und Hüttenverein und andere.

Abweichend von den Rillenschienen der genannten Firmen sind die mehrteiligen Schienen des Georgs-Marien-Bergwerks- und Hütten-

vereins in Osnabrück, System Haarmann. Bei diesen Schienen wird die Rille durch Zusammenfügen mehrerer Einzelschienen gebildet, zwischen denen oben ein entsprechender Zwischenraum bleibt. Dieselben sind ebenfalls stabil und besitzen nur den Nachteil zahlreicher Verschraubungen.

Besonderes Augenmerk wird heutzutage den Schienenverbindungen, den Laschen zugewendet. Während man sich bei älteren Konstruktionen damit begnügte, Laschen, die übrigens schwach konstruiert waren, zwischen Schienenkopf und -fuss mit wenigen Schrauben zu befestigen, geht man jetzt mit Recht in den Anforderungen viel weiter und hat zum Zweck, die Steifigkeit der Laschenverbindungen zu erhöhen, eine Reihe von interessanten Konstruktionen eingeführt. Die Aktiengesellschaft Phönix hat beispielsweise Fusslaschen zur Anwendung gebracht, bei welchen die sehr kräftige Lasche einen Fortsatz nach unten trägt, der sich flach unter den Fuss der Schiene legt und zwar in der Weise, dass z. B. eine Aussparung des Schienenfusses an dieser Stelle vorgenommen wird, oder indem derselbe in seiner ganzen Breite erhalten bleibt.

Die Gesellschaft für Stahlindustrie in Bochum, welche mit dem Bochumer Verein liiert ist, bringt abweichend hiervon Fusslaschen zur Verwendung, bei denen der Fortsatz der Lasche sich nicht flach unter den Schienenfuss, sondern auf einen unterhalb des Schienenfusses am Stoss angebrachten Versteifungskörper mit keilförmigen Passflächen legt und zu dem Zweck biegsam hergestellt ist, oder sie verwendet ausser der festen, unbiegsamen Fusslasche noch besondere Aussenlaschen, welche die Fusslasche fest an den Schienenfuss andrücken und ihrerseits sich von unten fest gegen den Schienenfuss pressen. Durch diese Anordnungen wird ein besseres Anliegen der Laschen an den Schienen bezweckt [1]).

Um die Schläge zu vermeiden, welche bei den Schienenstössen beim Durchfahren infolge der Unterbrechung der Lauffläche entstehen, sind verschiedene Mittel angewendet worden. Eins der besten besteht in dem sogen. Halbstoss, bei welchem ohne Schwächung des Steges die Lauffläche zur Hälfte abgefräst und in der Aussparung eine passend geformte Lasche als Hilfslauffläche angeordnet wird (Fig. 82). Derartige von Phönix und der Bochumer Gesellschaft für Stahlindustrie hergestellte Schienenstösse befahren sich äusserst sanft, besitzen ziemlich grosse Steifigkeit und sind ebenso leicht zu montieren wie gewöhnliche Laschenverschraubungen.

[1]) Vergl. Zeitschrift für Kleinbahnen 1896, Heft 6, sowie Deutsche Strassen- und Kleinbahnzeitung 1899, Nr. 30.

Ein interessantes Mittel hat der Georgs-Marien-Bergwerks- und Hüttenverein in Osnabrück zur Anwendung gebracht und zwar bei dem Wechselsteg-Verblattschienenoberbau. Derselbe wird hergestellt, indem Schienen mit seitlich bald nach rechts bald nach links verschobenem Steg aneinander gereiht werden und sich an ihren Enden zum Teil überdecken. Dies wird durch Abfräsen des Schienenkopfes je zur Hälfte erreicht und es wird die Zusammenfügung mit Hilfe von Laschen vorgenommen. Ein solcher Schienenstoss verhält sich ganz ähnlich wie der vorerwähnte Halbstoss. Eigentümlich ist ferner den Osnabrücker Schienen die Anordnung der Rille mit Hilfe von besonderen Zwangsschienen in der bereits oben erwähnten Weise, wobei diese Zwangsschienen auch streckenweise fortgelassen und dadurch eine Art Vignolschienenoberbau auf Landstrassen hergestellt werden kann, sobald eine Rille nicht verlangt wird.

Besondere Sorgfalt erfordert die Geleiseverlegung. In der Fig. 83 sind sechs verschiedene Ausführungsweisen in der Verlegung in Pflaster und in Schotterung dargestellt, und zwar gibt Nr. 1 eine Verlegung wieder mit Packlage in ganzer Breite, auf welche eine Schicht Pflastersand und hierauf das Pflaster sowie die Schienen gebracht werden. Bei Nr. 2 ist die Packlage nicht in ganzer Breite, sondern nur unterhalb der Schienen in Bettungsgräben angeordnet. In Nr. 3 ist vorausgesetzt, dass ein genügend fester Untergrund bereits vorhanden ist, und dass auf diesen direkt der Pflastersand und dann die Schienen sowie das Pflaster aufzubringen sind. Nr. 4 kennzeichnet Verlegung der Schienen wie in Nr. 1 auf Packlage in ganzer Breite, jedoch bei chaussierter Strassenoberfläche; Nr. 5 die gleiche Verlegung, jedoch mit Packlage in Bettungsgräben; Nr. 6 Verlegung in Schotter unter Annahme, dass eine feste Grundlage bereits vorhanden ist.

Für die praktische Ausführung ist noch zu unterscheiden zwischen den verschiedenen Varianten, welche dadurch eintreten, dass je nach den Verhältnissen dasselbe Pflastermaterial wieder benutzt oder neue Pflastersteine beschafft werden müssen, sei es von besserer Qualität als die bisherigen, sei es, dass Pflasterung an Stelle von Chaussierung tritt. Je nach den Anforderungen, welche gestellt werden, sowie der Beschaffenheit der vorhandenen Strassen wird man zwischen den behandelten Ausführungsmodalitäten wählen.

Bisweilen werden die Schienen anstatt auf Packlage und Pflastersand auf Beton verlegt, was den Geleisen grosse Festigkeit verleiht, aber das sanfte Befahren etwas beeinträchtigt.

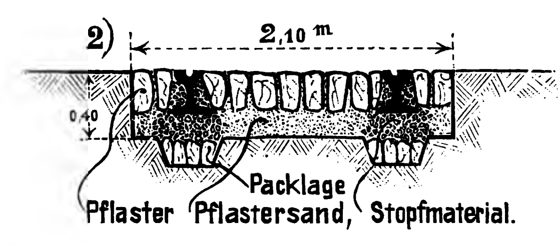
Ausser den genannten Fällen sind natürlich auch diejenigen zu erwähnen, in denen Asphalt die Strassendecke bildet, wobei grosse

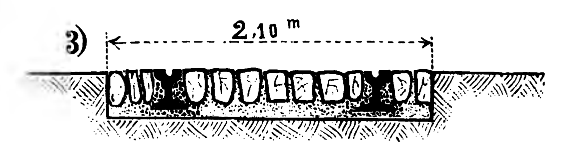
Fig. 83.

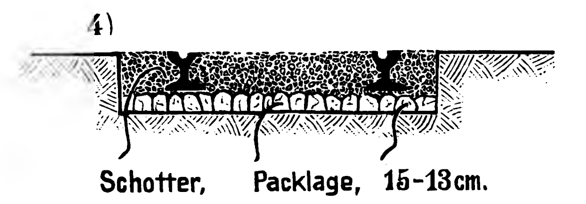
1) 2,10 m

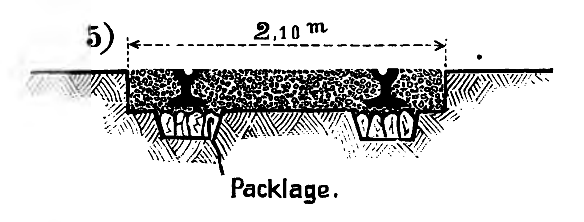
0,40

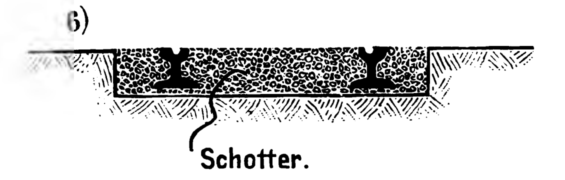
Pflaster, Pflastersand, Packlage.











Sorgfalt in der Verlegung aufzuwenden ist, da jedes Aufbrechen grosse Ausgaben verursacht.

Von besonderer Wichtigkeit bei den Geleiseanlagen sind die Weichen.

Die Anordnung der stellbaren Weichen bei Vignolschienen dürfte aus dem Eisenbahnbetriebe genügend bekannt sein; es soll daher auf die dort gebräuchlichen Normalien hingewiesen werden.

Ueber die Weichen, welche im Strassenbahnbetriebe verwendet werden, ist hier kurz folgendes zu berichten.

An Stelle der früher gebräuchlichen gegossenen Weichenteile und Herzstücke werden in neuerer Zeit Weichen bevorzugt, welche aus Schienen hergestellt sind. Jetzt benutzt man meist nicht mehr Weichen mit einer Zunge, sondern Doppelzungenweichen, welche entweder von Hand verstellt werden oder so konstruiert sind, dass

die hindurchfahrenden Wagen selbstthätig zum Rechtsausweichen gelenkt werden, indem die Zungen bei der Ausfahrt aus dem Weichengeleise durch das Rad bei Seite gedrückt werden.

Derartige Weichen aus Schienenteilen hergestellt liefert die Aktiengesellschaft Phönix.

Besondere Schwierigkeiten bieten die Kreuzungen der Strassen- und Eisenbahnschienen. Es liegen verschiedene Konstruktionen vor, welche diese Uebergänge bewerkstelligen.

Man hat zu unterscheiden zwischen solchen Kreuzungen, bei denen die Eisenbahnschienen an der Kreuzungsstelle eingeschnitten werden, so dass die Spurkränze des darüberfahrenden Strassenbahnwagens diese Einschnitte passieren, und solchen Kreuzungen, bei welchen keine Einschnitte zugelassen werden. Der erstgenannte Fall setzt voraus, dass die beiden Arten von Geleisen fest miteinander verbunden werden, wozu beispielsweise Winkellaschen dienen. Diese Ausführungsart findet sich häufig bei Anschlussgeleisen der Staatsbahnen. Findet kein Einschneiden der Schienen statt, wie im zweiten Fall, so ist eine feste Verbindung der sich kreuzenden Geleise nicht erforderlich, vielmehr können dieselben sich gegeneinander verschieben, so dass ein Wandern der Eisenbahnschienen, falls dasselbe überhaupt eintritt, unbehindert erfolgen kann.

Nebeneinrichtungen bei Bahnen.

Ausser den zum eigentlichen Betriebe der Bahnen erforderlichen Bestandteilen derselben ist eine Reihe von Nebeneinrichtungen in das Bereich der Betrachtungen zu ziehen, welche mehr oder weniger von Bedeutung sind und als nützliche Vervollständigungen der Anlage aufzufassen sind. Sie dienen teils zur Erhöhung der Betriebssicherheit, teils zur bequemeren Gestaltung des Betriebes, teils zur Abwendung von Gefahren.

Wie bei allen Eisenbahnen, so ist auch bei elektrischen Bahnen, wenn dieselben lange Strecken besitzen, ganz besonders auch, wenn sie mit Bahnhöfen ausgerüstet sind oder Güterverkehr zu bewältigen haben, eine Verständigung zwischen verschiedenen Hauptpunkten der Bahn gegenseitig und mit dem Hauptdepot sowie der Zentrale wünschenswert, wenn nicht sogar erforderlich. Diese auf elektrischem Wege mit Hilfe von Telegraphen oder Telephonen herzustellende Verbindung muss der besonderen, durch die Verhältnisse geforderten Bedingung grösster Einfachheit genügen, gleichzeitig ist die Forderung zu erfüllen, dass diese Schwachstromeinrichtungen, speziell die dazu notwendige

Leitungsanlage durch die Starkstromeinwirkungen der Bahnanlage nicht störend beeinflusst werden.

Während jedoch aus diesem letztgenannten Grunde die Anwendung von Telegraphenapparaten nahe liegt, weil dieselben gegen Störungen unempfindlicher sind, wird aus Rücksicht auf die Bequemlichkeit der Bedienung auch durch ein ungeschultes Personal die Benutzung von Telephonen hauptsächlich wünschenswert erscheinen.

Die Telephone machen aber besondere Vorkehrungen gegen störende Beeinflussung erforderlich. Es ist unzulässig, längs einem Bahngestänge eine Telephonleitung in der Weise zu führen, dass ein einfacher Telephondraht auf Isolatoren verlegt wird, welche an den Bahnmasten angebracht werden. Die Nähe der Bahnspeiseleitung wird in diesem Falle derartige Störungen verursachen, dass ein Gespräch vollkommen ausgeschlossen wäre. Nur solche Telephonleitungen sind als brauchbar zu betrachten, welche aus metallischer Hin- und Rückleitung bestehen und an keiner Stelle mit der Erde leitende Verbindung besitzen.

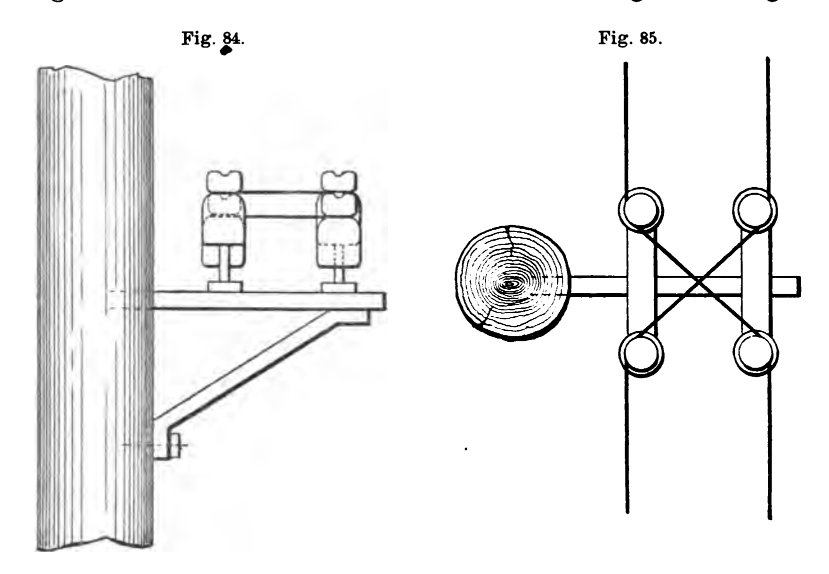
Selbst wenn man die erwähnte Schleifenleitung anwendet, kann man nicht durchaus sicher sein, dass die Verständigung tadellos ausfällt, vielmehr ist häufig noch ein weiteres Schutzmittel erforderlich, welches ebenso einfach wie wirksam ist. Dasselbe besteht darin, dass man die beiden zu einer Schleife gehörigen Leitungen in gewissen Abständen, z. B. an jeder zehnten Stange kreuzt, was einfach dadurch erfolgt, dass man an diesen Stellen anstatt zweier vier Isolatoren anbringt und auf diese Weise die Lage der beiden Drähte vertauscht. Wird die Bahn nicht mit Gleichstrom, sondern mit Wechselstrom betrieben, so sind die Kreuzungen in noch geringeren Abständen, d. h. beispielsweise an jeder dritten bis fünften Stange vorzunehmen, vorausgesetzt, dass die Wechselstromleitungen sich in grosser Nähe der Telephonleitungen befinden.

Eine zweckmässige Durchbildung der Kreuzungsstellen erhält man in der Praxis dadurch, dass man Doppelträger mit je zwei Isolatoren anwendet (vergl. Fig. 84), welche seitwärts an den Masten angebracht werden, und dass man die Kreuzungsstellen in der aus Fig. 85 ersichtlichen Weise durchbildet. Die Träger an diesen Stellen besitzen je vier Isolatoren, welche in Form eines Quadrats oder Rechtecks angeordnet und von denen zwei in einer Diagonale stehende um 2—3 cm höher angeordnet sind als die beiden anderen. Mit dieser Einrichtung erreicht man, dass durch blosses Herumlegen der beiden Leitungsdrähte ohne weitere Befestigung die Kreuzung ausgeführt werden kann, derart, dass erst später ein Festbinden mit Bindedraht notwendig wird.

Die hervorragend günstige Wirkung der Anwendung von Kreuzungsstellen in Doppelleitung hat sich unter anderem bei der von der Aktiengesellschaft Elektrizitätswerke (vorm. O. L. Kummer & Co.) 1893 erbauten Strassenbahn Blasewitz—Laubegast, bei welcher der Verfasser dieses System zur Durchführung brachte, sowie in verschiedenen anderen Anlagen, z. B. der elektrischen Eisenbahn Aibling—Feilenbach, bestätigt. Die schädlichen Einflüsse der Induktion, Ladung und Ueberleitung verschwinden bei dieser Einrichtung fast vollkommen und ermöglichen den höchsten unter den gegebenen Verhältnissen erreichbaren Grad guter Verständigung.

Es darf nicht unerwähnt bleiben, dass es sich bei Telephonleitungen für Bahnen mit zahlreichen Stationen häufig nicht umgehen

Fig. 84. Fig. 85.



lässt, eine Anzahl von Telephonstationen in dieselbe Schleife einzuschalten, wodurch natürlich der Grad der Verständigung sinkt und die Anforderungen an ein störungsfreies Arbeiten wachsen. Im übrigen geht die Wirksamkeit des besprochenen Schutzmittels gegen den Starkstrom daraus deutlich hervor, dass bei Verbindung auch nur einer Klemme eines Apparates mit der Erde die Verständigung unmöglich gemacht wird. Gleichzeitig lehrt aber diese Thatsache auch, wie notwendig eine gute Isolation der Telephonleitung und der Zuleitung zu den Apparaten ist.

Eine weitere Nebeneinrichtung zur Erhöhung der Betriebssicherheit der Bahn ist in der optischen Signalgebung zu erblicken. Abgesehen von Posten, welche an Strassenkreuzungen und exponierten Punkten

aufgestellt werden und die Aufgabe haben, durch Winken mit Fahnen oder mit Hilfe von Signallaternen die herannahenden Wagenführer darüber zu verständigen, ob die Bahn frei ist oder nicht, kommen noch selbstthätige elektrische Einrichtungen in Frage.

Es ist bereits früher der Vorschlag gemacht worden, z. B. an gefahrvollen Strassenkreuzungen Lampen anzubringen, welche durch den Fahrstrom auf bestimmten Teilstrecken bethätigt automatisch aufleuchten, sobald der elektrische Wagen sich der Kreuzung nähert, und auf diese Weise Fuhrwerke, welche sich auf dem Kreuzungswege befinden, sowie das Publikum warnen. Eine derartige Einrichtung kann durch blosse Kontaktgebung mit Hilfsdrähten oder auch unter Verwendung automatischer magnetischer Schalter, welche durch einen Teilstrom oder den Betriebsstrom in Thätigkeit gesetzt werden, erfolgen.

Zu den Einrichtungen, welche der eigenen Sicherheit der Bahnen oder dem Schutze anderer Anlagen gegen die schädlichen Einflüsse derselben dienen, sind auch die Schutzeinrichtungen für Telegraphen- und Telephonanlagen der Reichspost zu rechnen. Handelt es sich um den Schutz derartiger Leitungen, so tritt der Umstand sehr hindernd in den Weg, dass diese Telephonanlagen im allgemeinen, soweit es sich um Anschlussleitungen handelt, eindrähtig und nur für die Verbindungsleitungen zweidrähtig hergestellt werden, und dass selbst bei den letztgenannten noch eindrähtige Einrichtungen anzutreffen sind. Die Reichstelephonleitungen entbehren daher in Bezug auf die Gefahr von Störungen im allgemeinen noch der oben erwähnten höchsten Vervollkommnung, welche dann unbedingt erforderlich ist, wenn thatsächlich solche Störungen durch Bahnen eingetreten sind.

Eine von Herrn Finanzrat Dr. Ulbricht, Herrn Regierungsrat Dr. Weber und dem Verfasser ausgearbeitete Eingabe [1]), welche von dem Verbande deutscher Elektrotechniker an das Reichspostamt gerichtet worden ist, und welche in der Hauptsache bezweckte, die künftige Anwendung von Doppelleitung bei Reichstelephonanlagen zu erreichen, hat von dem Staatssekretär des Reichspostamts zur Erwiderung erhalten, dass die Durchführung dieser Massregel ins Auge gefasst werden soll, wobei jedoch die Reichspost ein gewisses Wegerecht für sich in Anspruch nimmt, welches bereits dem Reichstage vorgelegen hat [2]). Solange der Zustand allgemeiner Anwendung von Doppelleitung noch nicht besteht, ist jedesmal da, wo eine elektrische Bahn ins Leben tritt, eine Störung der Reichstelephonleitung zu befürchten, wobei dann häufig,

---

[1]) Siehe Elektrotechnische Zeitschrift 1898, Heft 33, S. 568.

[2]) Während der Drucklegung dieser Arbeit ist das Telegraphenwegegesetz mit gewissen Modifikationen vom Reichstage angenommen worden.

oder fast immer, als einziges Auskunftsmittel übrig bleibt, dass die Herstellerin der Starkstromanlage entsprechend § 12 des Gesetzes über das Telegraphenwesen des Deutschen Reichs die Kosten für Herstellung metallischer Rückleitungen bei der Reichstelephonanlage trägt. Hierbei sind Summen von 30—50000 Mark nicht ungewöhnlich. Jedenfalls liegt aber in dem Doppelleitungssystem das einfachste und zuverlässigste Auskunftsmittel für genannte Fälle.

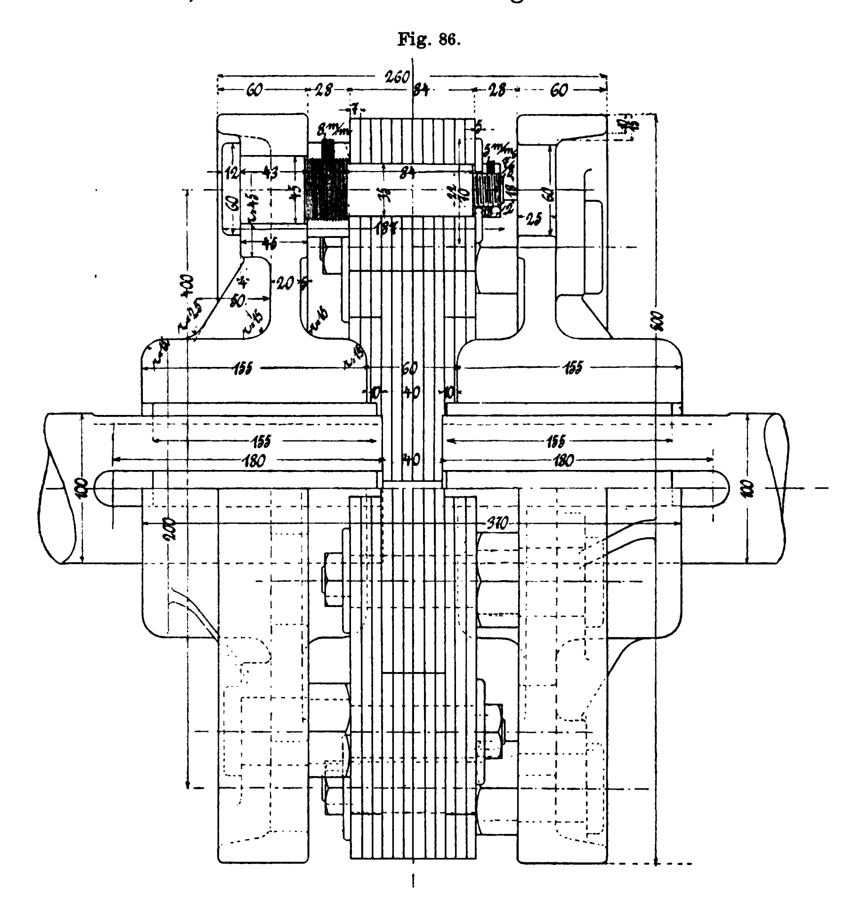
Ein weiterer Schutz der Reichstelegraphenleitungen gegen diejenigen von Bahnen hat zum Ziel die Vermeidung von mechanischer Berührung und Beschädigung, sowie des Uebertrittes von Starkstrom- in die Schwachstromleitung. Diese Vorkehrung besteht entweder in der Anbringung von stromlosen isolierten Schutzdrähten und Schutznetzen oder auch Holzleisten an der elektrischen Bahn oder in selteneren Fällen in ähnlichen Schutzvorrichtungen, welche am Telephongestänge angebracht werden. Ein anderes und zwar sehr wirksames Mittel besteht in der Einschaltung von Schmelzsicherungen in die Schwachstromleitungen, zu deren Anwendung sich die Reichspostverwaltung in letzter Zeit entschlossen hat.

In vereinzelten Fällen ist auch die Anwendung von starken über dem Fahrdraht ausgespannten Kupferdrähten, die mit den Schienen verbunden sind, verlangt worden. Die letztgenannte Schutzvorrichtung hat insbesondere bei Anwendung von Rollensystem den Uebelstand im Gefolge, dass nicht nur beim Herabfallen eines Telephondrahtes, sondern auch bei ganz normalen Betriebsverhältnissen jedesmal, sobald die Rute entgleist, in der Leitungsanlage der Bahn absoluter Kurzschluss mit der häufig in seinem Gefolge befindlichen verheerenden Wirkung entsteht. Abgesehen vom Verbrennen der Starkstromautomaten in der Zentrale sind Verschmelzungen der Rutenstangen und des Fahrdrahtes, die eine Auswechselung notwendig machten, bei dieser Einrichtung beobachtet worden. Der Schutz durch diese mit den Schienen verbundenen Drähte erscheint daher von dem Gesichtspunkte aus, dass nach Möglichkeit das Schutzmittel die Betriebssicherheit der Bahn nicht beeinträchtigen soll, als der bei weitem am wenigsten geeignete.

Eine zweckmässige Ausgestaltung erfordert der Schutz der Bahnen gegen Blitzschlag. Diese Einrichtung ist aus dem Grunde schwierig herzustellen, weil die Isolation der Anlage bei 500 Volt nicht so hoch bemessen werden kann, dass es im Vergleich zu derselben leicht wäre, den Blitz auf einen vorbezeichneten Weg abzulenken, andererseits muss man dafür sorgen, dass der abgelenkte Blitzschlag und der in seinem Gefolge auftretende Kurzschlussstarkstrom schnell wieder ausgelöscht wird. Die natürliche Folge ist, dass die Blitzsicherungen

nicht gerade zu den vollkommensten Apparaten zu rechnen sind. Soweit die Gefährdung der Dynamomaschinen durch den Blitz in Frage kommt, ist als wirksames Schutzmittel in erster Linie die vollständige Isolation der Dynamomaschine unter Zuhilfenahme einer isolierenden Kuppelung zu betrachten. Fig. 86 und 87 gibt eine derartige Konstruktion der Aktiengesellschaft Elektrizitätswerke (vormals O. L. Kummer & Co.) wieder. Die Anwendung derselben leistet insofern

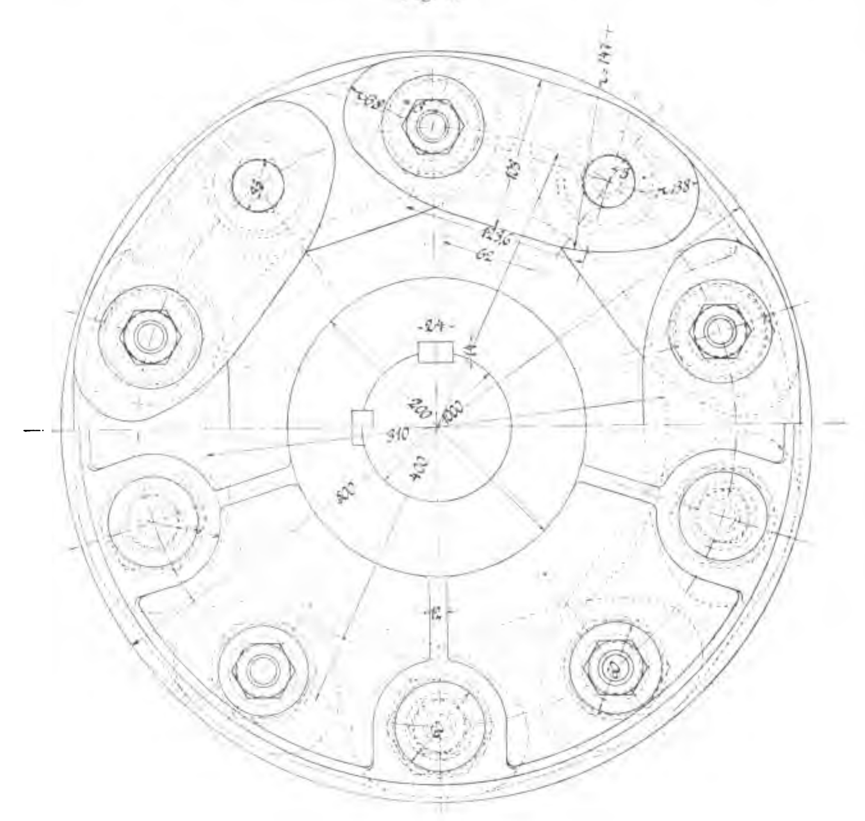
Fig. 86.



gute Dienste, als bei fehlender Isolation der Maschine der Blitz sehr leicht durch die Ankerwickelung nach dem geerdeten Maschinengestell überschlägt. Ein weiteres Hilfsmittel, den Blitzschlag auf einen bestimmten vorgeschriebenen Weg zu lenken, ist in der Anordnung von Induktionsspulen zu erblicken, welche in die vom Schaltbrett ausgehenden Speiseleitungen eingeschaltet werden, und die aus Eisenkernen mit darüber geschobenen Spulen aus mässig starkem Draht be-

stehen. Befinden sich dann an der Einführungsstelle der Freileitungen in das Maschinenhaus geeignete Blitzschutzeinrichtungen, so wird durch die genannten Mittel der Uebergang des Blitzes in die Blitzableiter wesentlich erleichtert. Auch in Bezug auf die Vermeidung von Telephonstörungen haben die Induktionsspulen eine günstige Wirkung. In beiden Fällen besteht ihre Funktion darin, dass das Entstehen von Wechselströmen hoher Frequenz beeinträchtigt wird. Insoweit aller-

Fig. 87.



dings Blitzschläge die Eigenschaft von Gleichströmen und nicht diejenige von pulsierenden Entladungen besitzen, kann auch durch die genannten Mittel kein Schutz gewährt werden.

Zu den Störungen, welche durch Bahnen verursacht werden können, sind auch diejenigen zu rechnen, welche an unterirdischen Rohrleitungsnetzen der Wasser- oder Gasleitung verursacht werden. Da der Strom, welcher zum Betriebe der Bahn dient, durch die

Schienen zurückgeleitet wird, entsteht trotz guter Schienenverbindungen unter Umständen in der Schienenleitung ein merkbarer Spannungsabfall, der geeignet ist, ein Abirren des Stromes aus den Schienen durch die Erde zu verursachen. Finden diese abirrenden Ströme auf ihrem Wege Rohrleitungen vor, so werden auch diese an der Stromleitung, wenn auch nur in geringem Masse, teilnehmen. Die Folge davon aber ist, dass die Röhren speziell an den Stellen, bei denen der Strom wieder in die Erde austritt, allmählich angefressen werden. Nehmen wir z. B. an, dass der Widerstand eines einfachen Geleises pro Kilometer einschliesslich Schienenverbindung 0,02 Ohm beträgt, so würde ein Strom von 100 Ampère pro Kilometer eine Spannungsdifferenz von 2 Volt erzeugen. Ist dieser Betrag auch gering, so ist es doch nicht ausgeschlossen, dass die Spannungsdifferenz bei grossen Entfernungen und ungünstigen Verhältnissen erhebliche Werte annimmt und dadurch unbeabsichtigterweise ein wesentlicher Teil des Stromes anstatt durch die Schienen durch die Erde fliesst. Diese in Amerika wiederholt beobachteten Korrosionen an Leitungsröhren sind im allgemeinen wenig zu befürchten, so weit nicht Fehler in den Schienenverbindungen vorhanden sind. Immerhin ist es notwendig, die Anlage so zu disponieren, dass ein hinreichender Schienenrückleitungsquerschnitt zur Verfügung steht. Unter besonders erschwerenden Umständen wird es daher notwendig sein, von dem an anderer Stelle erläuterten Schienenrückleitungssystem mit isolierten Kabelzuleitungen Gebrauch zu machen, obgleich man wegen der beträchtlich hohen Kosten einer solchen Anlage die Anwendung derselben durchaus nicht allgemein empfehlen kann.

Vor wenigen Jahren wurde das Thema der Störungen physikalischer Institute durch Bahnen lebhaft und eingehend erörtert. Auch auf diese Erscheinungen muss man daher bei Gelegenheit Rücksicht nehmen und ihretwegen ebenfalls auf eine Herabminderung der abirrenden Ströme bedacht sein.

Sind die Erdströme in erheblichem Masse vorhanden, so kann man ihre störenden Wirkungen, besonders auf empfindliche physikalische Instrumente nicht ohne weiteres beseitigen. Vielmehr bedarf man dann besonderer Vorkehrungen. Entweder man macht die Instrumente selbst konstruktiv (Galvanometer Deprez-d'Arsonval) oder durch Schutzhüllen unempfindlich oder man kompensiert die Wirkungen der Bahnströme durch entgegengesetzt wirkende gleichartige Ströme [1]). Und zwar sind alle Teile der Bahnströme zu berücksichtigen, d. h. sowohl diejenigen, welche durch die dazu bestimmten Leiter (Fahrdraht,

[1]) Elektrotechn. Zeitschr. 1892, p. 422; 1895, 28, p. 445.

Schienen) gehen, als auch diejenigen, die abirren und durch die Erde etc. gehen. Es handelt sich einfach darum, die magnetisierende Wirkung aller Stromteile durch eine Gesamtgegenwirkung aufzuheben.

Im ganzen kann bezüglich der Befürchtungen, dass elektrische Bahnen andere Einrichtungen beeinträchtigen, soweit der heutige Stand der Erkenntnis reicht und solange die Ermittelungen, welche über diese Angelegenheit zur Zeit angestellt werden, noch nicht abgeschlossen sind, ausgesprochen werden, dass eine wesentliche Furcht vor derartigen Erscheinungen nicht begründet erscheint. Vielmehr werden richtig angelegte Bahnen nur dann gewissermassen als Feinde anderer Anlagen auftreten, wenn sie die letztgenannten Mängel in ihrer Disposition besitzen oder Unregelmässigkeiten im Funktionieren der Bahn vorliegen. Sind die Schienenverbindungen und Schienenquerschnitte hinreichend, besitzen die Telephonanlagen metallische Rückleitung, verwenden physikalische Institute in der Nähe der Bahnen in sich selbst geschützte Instrumente und führen sie ihre unvermeidlichen subtilen Messungen, welche von dem Erdmagnetismus nicht unabhängig gemacht werden können, an besonders gewählten geeigneten Plätzen aus, so werden die Anlagen ohne gegenseitige ungünstige Beeinflussung nebeneinander bestehen.

Die Betriebsunkosten.

In Bezug auf die im Betriebe einer Strassenbahn erwachsenden Unkosten soll im allgemeinen auf die an verschiedenen Orten niedergelegten statistischen Daten verwiesen werden.

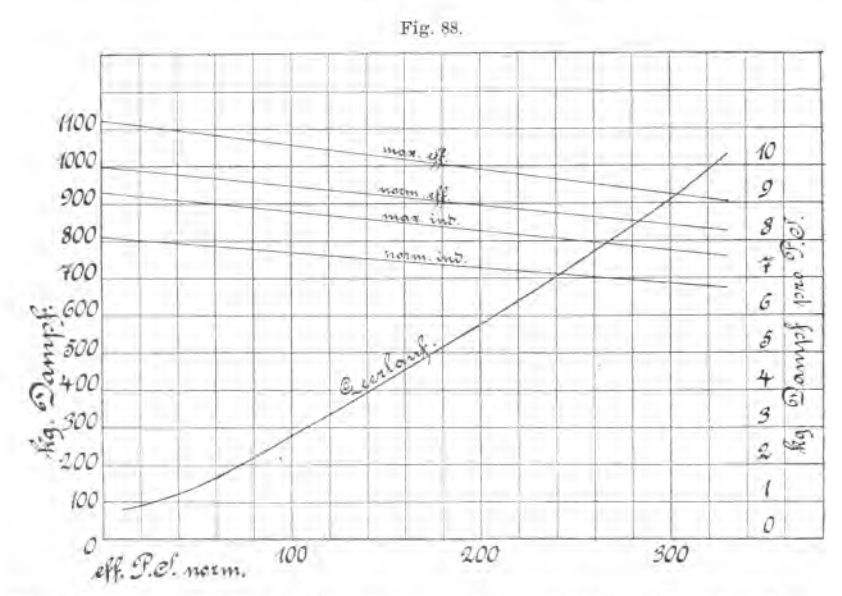
Der Aufwand für Verzinsung, Amortisation, Erneuerungsfonds hängt von der Höhe des angelegten Kapitals und den kaufmännischen Bedingungen für das Bestehen der Bahn ab. Die Ausgaben für Personal richten sich nach den lokalen Verhältnissen und den Vorschriften der Behörden. Abhängig von den technischen Bedingungen ist dagegen der Aufwand für die eigentliche Stromerzeugung. Diesem sollen einige Worte gewidmet werden.

Der gewöhnliche Fall für den Betrieb der Kraftstation besteht in der Anwendung von Dampfmaschinen. Es ist nun bekannt, dass der Dampfverbrauch je nach der Grösse und Ausführung der Maschinen stark variiert. Man wird aber bei elektrischen Bahnen stets auf die Verwendung ökonomischer Dampfmaschinen bedacht sein, d. h. solcher, die mit Kondensation arbeiten, mehrfache Expansion besitzen und von renommierten Fabriken stammen. Die Ausserachtlassung dieser Bedingung würde sich im Bahnbetriebe, der stets einen grossen Umsatz an Energie, d. h. Kohlen, mit sich bringt, schwer rächen.

Legen wir die Erfahrungszahlen zu Grunde, welche sich aus den Garantien leistungsfähiger Fabriken ergeben, so können wir die zur Vorausberechnung des Kohlenverbrauchs wichtigen Daten gewinnen. Da meistens ein Dampfdruck von 7—8 Atmosphären an der Dampfmaschine wirksam ist, und die Umdrehungszahlen der gewöhnlich mit den Dynamomaschinen direkt gekuppelten Dampfmaschinen sich in bestimmten durch die Praxis gegebenen Grenzen bewegen, kann eine einheitliche Behandlung Anspruch auf eine gewisse Berechtigung erheben.

In Fig. 88 ist der Versuch gemacht, die wichtigsten Dampfverbrauchszahlen für die gangbaren Maschinen graphisch darzustellen.

Fig. 88.



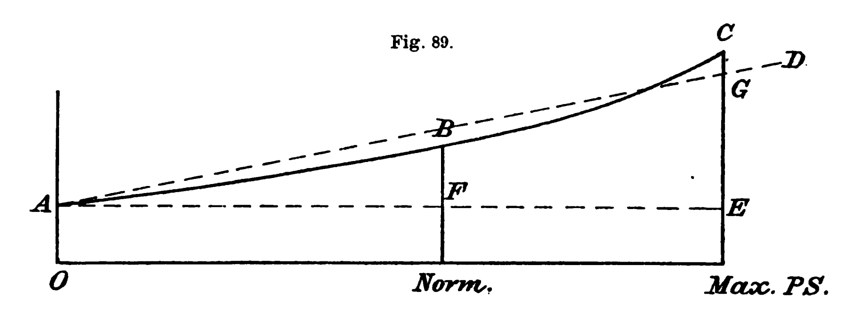
Die Abscissen geben die Normalleistung in effektiven Pferdestärken an, d. h. bei dem günstigsten Füllungsgrade, während die Ordinaten einerseits den Totalverbrauch für Leerlauf und andererseits den Dampfverbrauch pro indizierte bezw. effektive Pferdestärken der Normalsowie der Maximalleistung erkennen lassen.

Mit Hilfe der Zahlenwerte dieser Tabelle ist man im stande, den jährlichen Dampfverbrauch der Kraftstation mit einem genügenden Grade von Genauigkeit voraus zu berechnen.

Wir vergegenwärtigen uns an dieser Stelle, dass die Normalleistung einer guten Dampfmaschine meist das ca. 0,65fache der erreichbaren Maximalleistung beträgt. Tragen wir uns den totalen Dampfverbrauch in seiner Abhängigkeit von den effektiven Pferdestärken auf, so erhalten wir eine Kurve von der Gestalt wie Fig. 89.

Bei Leerlauf ergibt sich der Betrag O A, bei Normalleistung der Verbrauch B und bei Maximalleistung der Wert C, so dass wir die Kurve A B C als die charakteristische Dampfverbrauchseigenschaft der Maschine betrachten müssen. Um diese Kurve praktisch bequem benutzen zu können, nähern wir dieselbe durch die gerade Linie A D an, welche die Ordinate für die maximale Leistung im Punkte G schneidet. Ziehen wir eine Parallele zur Abscissenachse durch A, nämlich A F E, so gibt uns der oberhalb dieser Parallelen liegende Teil der Kurvenordinaten den Mehrverbrauch gegenüber der leerlaufenden

Fig. 89.



Maschine an. Bei Benutzung der Annäherungsgeraden A D ist dieser Mehrverbrauch proportinal den effektiven Pferdestärken, und zwar ergibt sich pro Pferdestärke der Betrag $\frac{\text{E G}}{\text{max. PS}} = \text{m}$ im Durchschnitt. Die gewonnenen Grössen können wir, wie folgt, verwerten.

Bekannt ist uns die Betriebszeit Z pro Jahr, ermittelt kann werden die Anzahl der pro Jahr gefahrenen Wagenkilometer und daraus der Wattstundenverbrauch pro Jahr. Dividieren wir diese Kilowattstunden W durch Z, so erhalten wir die mittlere Belastung der Dynamomaschine in Kilowatt. Ist der Wirkungsgrad der Dynamomaschine bei dieser Belastung gleich η, so leistet sie pro Pferdestärke $0{,}736 \,.\, \eta$ Kilowatt, und es sind für die jährliche Stromlieferung

$$\text{P} = \frac{\text{W}}{0{,}736 \,.\, \eta} \text{ PS-Stunden} \quad \ldots\ldots \quad 39)$$

erforderlich. Der Dampfverbrauch setzt sich nach unserer vorangehenden Betrachtung aus zwei Posten zusammen, demjenigen für Leerlauf und dem zusätzlichen. Bezeichnen wir den Wert O A mit l, so ist der jährliche Verbrauch für Leerlauf l . Z.

Der zusätzliche Betrag ist P . m, und demgemäss der Gesamtverbrauch

$$\text{G} = \text{l} \,.\, \text{Z} + \text{P} \,.\, \text{m} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 40)$$

Hierzu ist noch ein Zuschlag für Kondens- und ähnliche Verluste sowie für Anheizen und Kesselspeisung erforderlich. Nehmen wir das Verhältnis des Verbrauchs mit Verlusten zu demjenigen ohne dieselben gleich p an und setzen voraus, dass die verwendete Kohle im wirklichen Betriebe eine n fache Verdampfung ergibt, so ist der jährliche Kohlenverbrauch

$$\frac{(l \cdot Z + P \cdot m) \cdot p}{n} \text{ kg} \quad \ldots\ldots \quad 41)$$

Den Wert von p können wir beispielsweise gleich 1,1—1,3 setzen.

An dieser Stelle dürfte es angezeigt erscheinen, über die eben erwähnte Ausnutzung der Kohlen bei den Kesseln im gewöhnlichen Betriebe einige Worte zu sagen.

Die Verluste an Feuerungswärme sind thatsächlich, selbst bei guter Kesselanlage sehr hoch zu veranschlagen. Zahlen, wie sie von den Fabriken als Garantien bei normaler Beanspruchung angegeben werden, sind im Durchschnittsbetriebe nicht zu erwarten, und selbst bei Abnahmeversuchen, denen stets ganz bestimmte Beanspruchungen zu Grunde liegen, kann man in Bezug auf die Kesselanlage am leichtesten in Verlegenheit kommen, weil es in Wirklichkeit schwierig ist, die hohen Zahlen, welche leider zu garantieren üblich ist, zu erreichen. Aus diesen Gründen muss man bei Aufstellung einer Vorausberechnung des Kohlenverbrauchs für eine Bahnanlage sehr vorsichtig zu Werke gehen, zumal da nicht nur der Wirkungsgrad des Kessels, sondern auch die Heizkraft der Kohlen eine mehr oder weniger unsichere Grösse bildet.

Wir wollen uns vergegenwärtigen, welche Leistung an Kalorien für die Verdampfung erfordert wird. Es beträgt nach bekannten Ermittelungen der Aufwand an Kalorien

bei 6 kg Dampfdruck entsprechend einer Temperatur von 159 ⁰ = 655 kg-Kalorien
„ 7 „ „ 165 ⁰ = 657 „
„ 8 „ „ 170 ⁰ = 658 „
„ 9 „ „ 176 ⁰ = 660 „
„ 10 „ „ 179 ⁰ = 661 „
„ 11 „ „ 180 ⁰ = 663 „

Hierbei ist vorausgesetzt, dass Wasser von 0 ⁰ in Dampf zu verwandeln ist.

Nun kann ferner angenommen werden, dass 1 kg gute Steinkohle bei der Verbrennung 7500 Kalorien erzeugt. Für eine bessere

Braunkohle kann etwa der Wert 4000 zu Grunde gelegt werden. Nehmen wir beispielsweise den Aufwand an Kalorien für 1 kg Dampf mit 660 an, was als hoch zu bezeichnen ist, da technisch das Wasser wärmer ist als 0°, so erhalten wir bei dem Wirkungsgrad 1

$$\frac{7500}{600} = 11{,}36 \text{ kg Dampf pro Kilogramm guter Steinkohle.}$$

Setzen wir voraus, dass der Wirkungsgrad des Kessels im wirklichen durchschnittlichen Betriebe 0,6 ist, so erhalten wir thatsächlich

$$11{,}36 \,.\, 0{,}6 = 6{,}8\text{fache Verdampfung.}$$

Ist der Wirkungsgrad dagegen nur 0,5, so ergibt die Rechnung

$$11{,}36 \,.\, 0{,}5 = 5{,}7 \text{ kg Dampf für 1 kg Kohle.}$$

In gleicher Weise erhalten wir für die Braunkohle mit 4000 Kalorien

$$\frac{4000}{660} = 6{,}06 \text{ kg Dampf,}$$

dies ergibt z. B. beim Wirkungsgrad 0,5 . 6,06 = 3,0 kg Dampf pro Kilogramm Braunkohle.

Vergleichen wir die ausgerechneten Zahlen mit den Verdampfungsergebnissen, welche gelegentlich von Versuchen an guten Cornwallkesseln erhalten sind und bei welchen für allerbeste Steinkohle eine Verdampfung von etwa 6,7—8 kg unter günstigen Verhältnissen erzielt worden ist, so finden wir unsere Behauptung bestätigt, dass für die Vorausberechnung des Kohlenverbrauchs von Dampfzentralen niedrigere Wirkungsgrade, vielleicht von 0,5—0,6, gerechnet werden müssen. Es ist dies auch unbedingt erforderlich, wenn man bei der Rechnung auf Grund der zahlenmässig bekannten Wirkungsgrade der Dynamomaschinen und Dampfmaschinen sowie Dampfverbrauchsziffern Uebereinstimmung des errechneten mit dem wirklichen Kohlenverbrauch erzielen will.

Setzt man dagegen, wie bisweilen wohl geschieht, höhere Verdampfungszahlen ein, vielleicht 8 bei Kohlen, die eventuell in ihrer Leistungsfähigkeit noch hinter den betrachteten wesentlich zurückstehen, so wird man eine Uebereinstimmung der Rechnung mit dem wirklichen Kohlenverbrauch, der je nach den Umständen 2,8, 3, 3,5, selbst 4 kg Steinkohle pro Kilowattstunde beträgt, vermissen.

Diensteinteilung und Formulare.

Die praktische Durchführung eines Strassenbahnbetriebes macht eine sorgfältige Einteilung des Dienstes und Klarlegung der Obliegenheiten jedes einzelnen Beamten erforderlich. Es mag daher an dieser Stelle kurz auf diese Verhältnisse eingegangen werden.

Es sind naturgemäss verschiedene Teile getrennt zu betrachten, insbesondere die Direktion, die Leitung des Kraftstationsbetriebes, der äussere Fahrdienst und der Betrieb der Reparaturwerkstatt.

Der Direktion fällt nicht nur die obere Aufsicht über den ganzen Betrieb, sondern zugleich die Regelung des Verkehrs mit dem Publikum zu. Insofern der erste Teil der Aufgabe technisches Verständnis voraussetzt, ist daher für die Leitung der Strassenbahn ein technisch geschulter Mann erforderlich, der gleichzeitig der allgemeinen Verwaltung vorzustehen hat. Falls dem Direktor technische Kenntnisse abgehen, muss ihm ein technisch gebildeter Beirat zur Hand sein. Im speziellen sind natürlich die Vorschriften der Behörden massgebend.

Die eigentliche Aufsicht über die Kraftstation ist einem tüchtigen Maschinenmeister zu unterstellen, der nicht sowohl eine wesentliche Bedienungsarbeit an Maschinen etc. zu verrichten haben wird, als vielmehr, eine zweckmässige und solide Durchführung vorausgesetzt, bei etwaigen aussergewöhnlichen Vorkommnissen das Maschinenpersonal mit den erforderlichen Weisungen zu versehen hat.

Eine besondere Aufmerksamkeit ist der tüchtigen Leitung der Reparaturwerkstatt zuzuwenden. Es kann nicht geleugnet werden, dass die Verwendung der verhältnismässig hohen Spannung unter den ungünstigen Umständen des Bahnbetriebes leicht Veranlassung zu Störungen bietet. Es ist dies mit ein Grund, aus dem es gerechtfertigt erscheinen musste, dass die Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker für diese Kategorie von Anlagen wegen der Schwierigkeit, das Richtige ohne lästige Einschränkung zu treffen, zuletzt von allen behandelt worden sind.

Um die sachgemässe Vornahme der Ausbesserungen schadhafter Motoren, Steuerapparate etc. zu ermöglichen, muss eine mit genügenden Hilfsmitteln ausgestattete Werkstattseinrichtung vorhanden sein. Ausser den erforderlichen Arbeitsmaschinen zur Bearbeitung der Eisenteile, Abdrehen der Räder etc. sind auch Vorkehrungen zur Erneuerung der Wickelungen u. dergl. notwendig, und aus diesem Grunde ist es einleuchtend, dass derjenige, welcher dieser Werkstatt vorstehen soll, nicht nur eine gewisse allgemein technische, sondern auch speziell eine elektrotechnische Bildung besitzen muss, um nicht, anstatt zu helfen, die Ursache zu neuen Fehlern zu schaffen. Da mit Recht behauptet werden kann, dass bei elektrischen Bahneinrichtungen die Sauberkeit das beste Mittel ist, um Störungen fern zu halten, so ist ein Haupterfordernis für den Leiter der Betriebswerkstatt naturgemäss grosse Ordnungsliebe. Unterstützt wird dieselbe unter anderem, wenn für die Reinigung und Bereitung des Schmiermaterials, welches vielfach

ein Feind der Isolation der Motoren ist, zweckdienliche Einrichtungen vorhanden sind.

Besondere Wichtigkeit besitzt der äussere Dienst, welcher am besten eine gewisse militärische Schulung aufweisen soll, zumal da die Pünktlichkeit ein Haupterfordernis jedes Bahnbetriebes ist. Da jeder einzelne Mann nicht während der ganzen täglichen Betriebszeit Dienst thun kann und auch die gesetzlichen Vorschriften einzelne freie Tage und Stunden bedingen, so ist der Aufstellung einer zweckmässigen Diensteinteilung besondere Aufmerksamkeit zu schenken, damit auf der einen Seite den Vorschriften der Behörden genügt und gleichzeitig eine gewisse Reserve an Leuten geschaffen wird und andererseits nicht ein Ueberfluss von Personal entsteht, der um so nachteiliger wäre, als gerade der Aufwand für diese Bediensteten zu den wesentlichsten Ausgaben jedes Betriebes gehört.

Um die verschiedenen Aufgaben der Verwaltung in bequemer Weise zu erledigen, empfiehlt sich die Benutzung geeigneter Formulare. Hierzu gehört unter anderem ein Vordruck für einen Vertrag mit Schaffnern und Wagenführern, in welchem über Löhnung und Kündigungsfrist sowie die speziellen Verpflichtungen gewisse Festsetzungen enthalten sind. Zu diesen Bestimmungen gehören auch etwaige Festsetzungen über Strafen oder Kautionen. Da die Kleidung dem Personal zweckmässigerweise geliefert wird und demgemäss nur leihweise in den Besitz desselben übergeht, empfiehlt es sich, auch über die Behandlung der Kleidung sowie eine etwaige für die Lieferung erhobene Entschädigung besondere Festsetzung zu treffen.

Ueber das gesamte Personal soll eine Liste geführt werden, welche über Namen, Beschäftigung, Besoldung, Tag des Dienstein- und -austrittes sowie etwaige Strafen, Urlaub und Dienstverhinderung durch Krankheit den erforderlichen Aufschluss gibt. Da die Reihe derjenigen, welche Gesuche um Beschäftigung an die Direktion richten, noch weit grösser ist als die Zahl der Angestellten selbst, so ist auch über den Ein- und Ausgang derartiger Gesuche sowie die erteilten Antworten eine übersichtliche Buchführung von Wert. Bezüglich der Bezahlung selbst ist die Führung einer Lohnliste mit allen näheren Angaben über Arbeitszeit und Bezüge der Angestellten erwünscht.

Abgesehen von einigen Formularen für allgemeine Zwecke, zu denen auch solche für Meldung von Unfällen, Zusammenstössen, Betriebsstörungen gehören, und welche zur Berichterstattung dienen, ist die Führung von Wagenberichten und Betriebsberichten von besonderer Wichtigkeit.

Die Wagenberichte müssen Aufschluss geben, wann der betr.

Wagen von dem einen Wagenführer abgegeben und von dem anderen übernommen wird, sowie die Ausserbetriebsetzung und andere Erscheinungen, welche sich bei dem Wagen im Betriebe gezeigt haben. Die entsprechenden Eintragungen sind auf Grund von Meldezetteln der Schaffner von dem Wagenmeister vorzunehmen, welcher auch die an den ausser Betrieb gesetzten Wagen vorgenommenen Reparaturen zu verzeichnen hat.

Der Maschinenmeister der Kraftstation hat tägliche Berichte über dieselbe zu verfassen. Die dazu benutzten Formulare müssen Rubriken enthalten für die Betriebszeit der verschiedenen Maschinen und Kessel, über Dampfdruck, erzieltes Vakuum, Verbrauch an Speisewasser und Temperatur desselben, Betriebszeit etwaiger Hilfsmotoren sowie der elektrischen Beleuchtung. Ferner ist zu verzeichnen der Verbrauch an Kohlen, Maschinen- und Cylinderöl, Fett, Petroleum und Putzwolle sowie Glühlampen und Kohlenstiften. Ausserdem sind die Angaben der Wattzähler zu registrieren. Ausser diesen Kraftstationsberichten sind Tagesberichte über die Anzahl der auf den verschiedenen Strecken im Betrieb gewesenen Wagen, und zwar sowohl Motor- wie Anhängewagen, sowie über beförderte Personen, zurückgelegte Wagenkilometer und erzielte Einnahmen im ganzen sowie pro Wagenkilometer von der Betriebsverwaltung aufzustellen.

Von Formularen für allgemeine Zwecke sind noch zu erwähnen solche zu Berichten über gefundene Sachen, sowie für Buchung eingelieferter Funde.

Aus der Mannigfaltigkeit der aufgeführten Dinge dürfte hervorgehen, eine wie wesentliche Erleichterung die Durchführung genauer Eintragungen für die Uebersicht über den ganzen Betrieb bietet. Auf Grund der Eintragungen wird man dann auch in die Lage versetzt, Schlüsse aus den Erscheinungen an Maschinen, Motoren etc. zu ziehen und dieselben nutzbringend für Verbesserungen zu verwerten.

Verträge über Bahnen.

Die Ausführnng von Strassenbahnen, welche wir hier besonders im Auge haben, erfolgt gewöhnlich in der Weise, dass eine Gesellschaft oder eine städtische Behörde, eventuell auch der Staat, den Auftrag für die Herstellung der gesamten Bahn oder wesentlicher Teile derselben einer elektrotechnischen Firma erteilt.

Zu den wichtigen Bestimmungen der über die Lieferung abzuschliessenden Verträge gehört die Angabe des Lieferungsobjektes, Länge und Lage der Strecken und beabsichtigte Verkehrshäufigkeit

sowie Geschwindigkeit. Um in Bezug auf letztere keine Unklarheiten bestehen zu lassen, ist es erforderlich, die Maximalfahrgeschwindigkeit in bebauten und unbebauten Strassen und ferner die mittlere Geschwindigkeit, d. h. diejenige, welche im Fahrplan zum Ausdruck kommt, anzugeben. Wird zwischen diesen beiden Arten von Geschwindigkeiten nicht streng unterschieden, so kann dies zu grossen Missständen Veranlassung geben.

Ueber Ausführung der Geleise, Wahl und Lage der Schienen und ihre Verlegung sowie etwaige Neupflasterungen sind Bestimmungen zu treffen. Die Lage, die Art und der Umfang der Kraftstation ist zu präzisieren und die Zahl und Grösse der aufzustellenden Kraft- und Dynamomaschinen anzugeben. Ferner sind Angaben über die Stromzuführung, ob oberirdisch oder unterirdisch oder durch Akkumulatoren, erforderlich. Die Zahl der Betriebswagen und der Reserve für dieselben ist zu präzisieren und anzugeben, welche Zuggrösse zu befördern ist und auf welcher maximalen Steigung. Eine Angabe von Pferdestärken bei den Motoren erscheint durchaus ungeeignet, vielmehr kann deren Leistung weit besser durch einen Zusatz über die zu erzielende Geschwindigkeit entweder auf der stärksten Steigung oder auf der horizontalen — nicht aber für beide Fälle — gekennzeichnet werden. Es ist anzugeben, ob zur Strassenreinigung, Beseitigung von Schnee, zum Sprengen und für Streckenarbeiten Hilfswagen vorzusehen sind, und zwar ob mit oder ohne motorische Ausrüstung. Ferner muss angegeben werden die Lieferzeit und die Voraussetzung für Einhaltung derselben. Ueber Lieferung der zur Nachsuchung der Genehmigung erforderlichen zeichnerischen und sonstigen Unterlagen, über Konventionalstrafen und Zahlungsweise sind Bestimmungen zu treffen, und zwar bildet für Feststellung der Baukosten die Zugrundelegung der Einheitspreise, nicht aber die Endsumme die allein berechtigte Unterlage. Ueber Art und Höhe einer etwa geforderten Kaution, Garantiezeit, Erledigung von Streitigkeiten und Bezahlung von Stempelkosten finden sich in vielen Verträgen nähere Festsetzungen.

Soweit es sich um Angabe von technischen Leistungsfähigkeiten bei Maschinen, Kesseln etc. handelt, ist eventuell die Aufnahme entsprechender Zahlenwerte in besondere technische Lieferungsbedingungen zu empfehlen. In Bezug auf die für diese Zahlen zu gebenden Garantien dürften noch einige Bemerkungen am Platze sein. Könnte man voraussetzen, dass die Zahlen so bemessen werden, dass dieselben unter allen Umständen mit Leichtigkeit einzuhalten sind, so wäre es gerechtfertigt, die Lieferung bei Nichteinhaltung einfach zurückzuweisen. Da diese Voraussetzung aber gewöhnlich nicht zutrifft, vielmehr es

leider üblich ist, bis hart an die Grenze zu gehen, so erscheint es angemessen, eine Bestimmung in dem Sinne zu treffen, dass bei Minderleistungen nicht eine Zurückweisung, sondern nur ein Abzug am Lieferungspreise erfolgt. Ebenso ist es gerechtfertigt, dass die Abnahme der Anlage erfolgt, sobald dieselbe betriebsfähig ist.

Soll die Leistung der aufzustellenden Maschinen nicht nach Pferdestärken für Normalleistung und Maximalleistung angegeben werden, so empfiehlt es sich, die Anzahl der zu befördernden Wagen, gekennzeichnet durch die Anzahl der gleichzeitig fahrenden Wagen, und deren Geschwindigkeit für die Leistung zu Grunde zu legen. Soll dagegen die Stromstärke als Mass dienen, so kann nur die Angabe entweder der mittleren oder der maximalen Stromstärke im Sinne unserer früheren Auseinandersetzungen über diese Verhältnisse vollen Anspruch auf Berechtigung haben.

Bisweilen wird der Betrieb von der Besitzerin einer Strassenbahn nicht selbst geführt, sondern verpachtet. Der für diesen Fall aufzustellende Pachtvertrag kann ausser Festsetzungen ähnlicher Art, wie eben besprochen, noch Angaben über Fahrpreise enthalten. Der zu Grunde zu legende Fahrplan ist anzugeben, und zwar nicht nur die Häufigkeit der Fahrten, sondern auch die Betriebsstundenzahl. Es ist festzusetzen, ob die Pächterin sich mit der Strassenreinigung zu befassen hat oder nicht. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass eine Verunreinigung der Strassen durch elektrischen Betrieb in keiner Weise stattfindet, und es als ungerechtfertigt bezeichnet werden muss, wenn ein Verlangen nach Strassenreinigung analog dem Pferdebahnbetrieb trotzdem gestellt wird.

Die Höhe des Pachtzinses ist festzulegen und eventuell eine Bestimmmung darüber zu treffen, ob ein Erneuerungsfonds anzulegen ist.

Die bei Uebergang des Pachtvertragsverhältnisses auf andere zu erfüllenden Modalitäten sind ebenfalls aufzuführen. Gewöhnlich wird die Bedingung gestellt, dass der Nachfolger leistungsfähig sein muss.

In vielen Fällen wird vorgesehen, dass der Erbauer des Strassenbahnwerkes auch Strom zu Beleuchtungszwecken oder die Einrichtungen dazu zu liefern hat. Auch wird bei Errichtung von Lichtwerken die spätere Erweiterung zum Bahnbetriebe öfters mit ins Auge gefasst. Es ist leicht verständlich, dass die Vereinigung der genannten Betriebe in einer Hand für beide Teile, sowohl den Auftraggeber als den Ausführenden oder Betriebführenden, Vorteile mit sich bringt.

Register.

P.

Q.

R.

S.

T.

U.

V.

W.

Z.

3

2

Max / Mitt.

1

0

N°ag

